

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Tomáš Čaňo

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Řízení elektrických pohonů v systémech s vysokými nároky na
funkční bezpečnost**

Control of Electric Drivers in Safety Related Control Systems

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Tomáš Čaňo

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Řízení elektrických pohonů v systémech s vysokými nároky
na funkční bezpečnost
Control of Electric Drives in Safety Related Control Systems

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se se základy problematiky funkční bezpečnosti.
2. Rozbor problematiky ochranných systémů obsahující elektrické pohony.
3. Návrh laboratorního pracoviště pro demonstraci řízení elektrických pohonů v systémech s vysokými nároky na funkční bezpečnost.
4. Popis postupu návrhu bezpečnostní aplikace pro ochranný systém s elektrickými pohony.
5. Návrh a realizace řídicí aplikace vybranou úlohu.
6. Testování funkčnosti aplikace.
7. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC*. 5th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2013, 284 p. ISBN 978-3895783876.
- [2] BERGER H. *Automating with SIMATIC S7-1500: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional*. Hardcover, 2014. ISBN-13: 978-3895784040.
- [3] GROß, Hans, Jens HAMANN and Georg WIEGÄRTNER. *Electrical Feed Drives in Automation*. Erlangen: Publicis MCD Corporate Pub., c2001, 336 p. ISBN 3-89578-148-7.
- [4] Technická dokumentace k systému Simatic.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 27.4.2017


.....

Podpis

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání diplomové práce. Chtěl bych dále také poděkovat panu Lumíru Malickemu za pomoc při konstrukci laboratorního modelu.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá funkční bezpečností laboratorního modelu s asynchronním motorem. Návrhu předcházela průzkum norem zabývajících se funkční bezpečností. V této práci je návrh funkční bezpečnosti proveden pomocí normy ČSN EN 62061. Je provedena analýza rizik pracoviště. Z analýzy rizik je proveden návrh bezpečnostních funkcí zabráňujících nebezpečným situacím. Navržené bezpečnostní funkce byly ověřeny počítaně i pomocí nástroje Safety evaluation tool. Pomocí bezpečnostních prvků a komponent byl sestaven laboratorní model. Pro sestavený model byla naprogramována aplikace pro řízení a bezpečnostní funkci. Byla otestována funkčnost a bezpečnost modelu.

Klíčová slova

Funkční bezpečnost; PLC; bezpečnostní prvky; analýza rizika; bezpečnostní normy; Siemens; pohony

Abstract

This diploma thesis deals with the functional safety of the laboratory model with asynchronous motor. The proposal was preceded by a survey of functional safety standards. In this work the design of functional safety is carried out using the standard ČSN EN 62061. Workplace risk analysis is performed. The risk analysis is designed to design safety features to prevent dangerous situations. The proposed safety features have been verified by the Safety evaluation tool. A laboratory model was built using the safety elements and components. A control and security application has been programmed for the assembled model. The functionality and security of the model have been tested.

Keywords

Functional safety; PLC; safety features; risk analysis; safety standards; Siemens; drives

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam ilustrací a tabulek.....	10
1 Úvod.....	12
2 Bezpečnost a normy	13
2.1 Rozdělení norem	13
2.2 Popis norem.....	13
2.2.1 ČSN EN ISO 13849	13
2.2.2 ČSN EN ISO 62061	14
2.2.3 ČSN EN ISO 14121-1	15
2.2.4 ČSN EN ISO 60204-1	15
2.2.5 ČSN EN ISO 12100	15
2.3 Posouzení rizika	15
2.4 ČSN EN ISO 62061 podrobně	17
3 Bezpečnostní prvky u pohonů	23
3.1 Frekvenční měniče	23
3.1.1 Bezpečnostní funkce v měniči.....	23
3.2 Elektromechanická přídržná brzda motoru	26
4 Návrh přípravku	27
4.1 Popis modelu.....	27
4.2 Analýza rizika	28
4.3 Návrh řídicího systému souvisejícího s bezpečností (SRECS)	30
4.3.1 Návrh řídicího bezpečnostní funkce pro závaží	30
4.3.2 Návrh řídicího bezpečnostní funkce pro motor	32
4.4 Zvolené komponenty modelu.....	34
4.4.1 Blokové schéma	34
4.4.2 PLC	34
4.4.3 Frekvenční měnič	35
4.4.4 Motor a převodovka	36
4.4.5 Senzory koncové polohy	38
4.4.6 Bezpečnostní zámek	39

4.4.7	Tlačítko nouzového zastavení	40
4.4.8	Lankový enkodér.....	40
4.4.9	Maják.....	41
4.4.10	Ovládací prvky	41
4.5	Výpočet diagnostické funkce a určení SIL.....	43
4.5.1	Určení hodnoty PFHD u jednotlivých prvků	43
4.5.2	Určení hodnoty SIL pro navržené diagnostické funkce	46
4.6	Ověření navrženého systému v programu Safety evalution tool.....	46
4.6.1	Založení projektu.....	47
4.6.2	Vložení prvků	48
4.6.3	Ověření hodnoty SIL	49
4.6.4	Porovnání hodnot PFHD z výpočtu a nástroje Safety evalution tool	49
5	Uvedení do provozu a tvorba Safety aplikace.....	50
5.1	Hw konfigurace	50
5.2	Komunikace mezi měničem a PLC	51
5.2.1	Telegram 352.....	51
5.2.2	Telegram 30.....	52
5.3	Nastavení frekvenčního měniče	52
5.3.1	Comisioning	52
5.3.2	Nastavení bezpečnostních funkcí v měniči	53
5.4	Tvorba řídicího programu	54
5.4.1	Komunikace mezi měničem a PLC	54
5.4.2	Logika řízení měniče	55
5.5	Programování bezpečnostní funkce.....	56
5.6	Vizualizace.....	59
6	Testování aplikace.....	61
7	Závěr	62
8	Použitá literatura	63
9	Seznam příloh:	64

Seznam použitých symbolů a zkratk

Zkratka	Popis	Jednotka
β	Citlivost na společné poruchy	
λ_D	Intenzita nebezpečných poruch	
AC	Střídavý složka	
A_v	Pravděpodobnost vyvarování se nebo omezení škody	
B_{10d}	Počet provozních cyklů	
C	Počet provozních cyklů za danou dobu	
CCF	Porucha se společnou příčinou	
ČSN	Česká státní norma	
DC	Stejnoseměrná složka nebo diagnostické pokrytí	
Fr	Četnost a doba trvání ohrožení	
I/O	Vstup/Výstup	
MTTF	Očekávaná střední doba do poruchy	
PFH_D	Pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu	
Pr	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události	
PLC	Programovatelný automat	
SIL	Úroveň integrity bezpečnosti	
SBC	Bezpečnostní brzda	
SDI	Bezpečné hlídání směru	
Se	Závažnost poškození zdraví	
SIL	Úroveň integrity bezpečnosti	
SILCL	Dosažitelná úroveň integrity bezpečnosti	
SLS	Bezpečná rychlost	
SIL	Úroveň integrity bezpečnosti	
SRCF	Bezpečnostní funkce	
SRECS	Elektrický řídicí systém související s bezpečností	
SRCF	Bezpečnostní funkce	
SRP/CS	Bezpečnostní části ovládacích systémů	
SS1	Bezpečnostní zastavení	
SLS	Bezpečná rychlost	
SSM	Bezpečné hlídání rychlosti	
STO	Bezpečný stav STOP	
T_1	Interval kontrolní zkoušky nebo doba života	
T_2	Interval diagnostické zkoušky	

Seznam ilustrací a tabulek

<i>Obr. 1: Diagram posouzení rizika</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2: Logické znázornění subsystému A</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3: Logické znázornění subsystému B</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 4: Logické znázornění subsystému C</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 5: Logické znázornění subsystému D</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 6: Frekvenční měniče.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 7: STO.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 8: SSI</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 9: SLS.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 10: SSM.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 11: SDI.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 12: Elektromechanická brzda</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 13: Náčrt modelu</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 14: Návrh a vývoj SRECS.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 15: Funkční bloky</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 16: Subsystémy.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 17: Návrh a vývoj SRECS.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 18: Funkční bloky</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 19: Subsystémy.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 20: Blokové schéma</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 21: PLC automat ET200SP.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 22: Frekvenční měnič G120.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 23: Motor</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 24: Převodovka</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 25: Indukční snímač pracovní.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 26: Mechanický snímač havarijní.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 27: Elektronický zámek.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 28: Nouzové tlačítko zastavení</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 29: Lankový enkodér.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 30: Maják.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 31: Polohovací tlačítka.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 32: Servisní přepínač</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 33: Resetovací tlačítko.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 34: Výběr rozložení bezpečnostní funkce</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 35: Určení hodnoty SIL.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 36: Nastavení bezpečnostního prvku</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 37: Ověření hodnoty SIL pro motorovou oblast</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 38: Propojení komponent.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 39: Volba telegramů</i>	<i>51</i>

<i>Obr. 40: Telegram 352</i>	51
<i>Obr. 41: Telegram 30</i>	52
<i>Obr. 42: Nastavení měniče</i>	52
<i>Obr. 43: Povolení bezpečnostního nastavování</i>	53
<i>Obr. 44: Volba bezpečnostních funkcí</i>	53
<i>Obr. 45: Typ komunikace měniče a PLC</i>	53
<i>Obr. 46: Nastavení bezpečnostních funkcí</i>	54
<i>Obr. 47: Blok pro komunikaci pomocí telegramu</i>	55
<i>Obr. 48: Blok pro logiku řízení</i>	56
<i>Obr. 49: Nastavení vstupů pro bezpečnostní prvky</i>	57
<i>Obr. 50: Přiřazení proměnných</i>	57
<i>Obr. 51: Blok pro elektronický zámek</i>	58
<i>Obr. 52: Blok pro nouzové zastavení</i>	58
<i>Obr. 53: Aktivace funkcí měniče</i>	59
<i>Obr. 54: Uvolnění elektronického zámku dveří</i>	59
<i>Obr. 55: Hl. obrazovka</i>	60
<i>Obr. 56: Obrazovka s alarmy měniče</i>	60
<i>Tab. 1: Třída závažnosti (Se)</i>	18
<i>Tab. 2: Třída frekvence a doby trvání ohrožení (Fr)</i>	18
<i>Tab. 3: Třída pravděpodobnosti (Pr)</i>	18
<i>Tab. 4: Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av)</i>	18
<i>Tab. 5: Matice určení SIL</i>	19
<i>Tab. 6: Bezpečnostní jmenovité hodnoty PLC</i>	35
<i>Tab. 7: Bezpečnostní jmenovité hodnoty měniče</i>	36
<i>Tab. 8: Parametry motoru</i>	37
<i>Tab. 9: Bezpečnostní jmenovité hodnoty havarijního snímače</i>	39
<i>Tab. 10: Bezpečnostní jmenovité hodnoty zámku</i>	39
<i>Tab. 11: Bezpečnostní jmenovité hodnoty nouzového tlačítka</i>	40
<i>Tab. 12: Subsystému</i>	43
<i>Tab. 13: Porovnání PFH_D</i>	49

1 Úvod

Stroje se dnes používají všude, kam se člověk podívá, odvádí za nás mnoho práce, nebo práci hodně usnadňují. Stroje mohou být také nebezpečné. Zabýváme se proto u těchto strojů bezpečností. Každý stroj má určité části nebezpečné pro člověka (elektrické, mechanické, pneumatické atd...). Jelikož člověk není bezchybný a neomylný, musí se tyto části ukrýt, odstranit nebo zamezit, aby se k nim člověk dostal. Pokud má stroj pracovní oblast, která musí být přístupná, tak se tato oblast musí správně zabezpečit pomocí určitých bezpečnostních prvků.

Podmínky pro bezpečnost jsou obsaženy v normách. Stroje musí splňovat všechny požadavky dané normami. Z těchto norem se vychází při návrhu stroje. Jako hlavní norma při návrhu bezpečného stroje je použita norma ČSN EN 62061.

Cílem této práce bylo seznámení se s normami týkajícími se návrhem bezpečnostních systémů a konstrukcí strojů, a uplatnit tyto normy při návrhu laboratorního modelu s asynchronním motorem.

Samotná práce je rozdělena do několika kapitol. 2. kapitola se zabývá normami používanými u funkční bezpečnosti a jejich rozdělení. Je zde podrobně rozepsána používaná norma ČSN EN 62061. Je zde vysvětlen návrh bezpečnostní funkce.

V kapitole 3 jsou vypsány použité bezpečnostní prvky, které se používají u asynchronních pohonů. Jsou zde vysvětleny jednotlivé bezpečnostní funkce používané u frekvenčních měničů. Jedná se o funkce integrované přímo v měniči nazývané Safety integrated, Díky těmto funkcím není potřeba používat stykače pro odpojení napájení. Je zde vysvětleno také použití elektromechanické brzdy.

Kapitola 4 popisuje postup návrhu laboratorního pracoviště. Pro návrh je použita norma ČSN EN 62061, podle které se postupuje při návrhu bezpečného pracoviště. Je zde provedena analýza a posouzení rizik pro navrhovaný laboratorní model. Pro zjištění nebezpečné oblasti jsou použity bezpečnostní prvky pro snížení rizika. Navržená bezpečnostní funkce je ověřena výpočtem jednotlivých pravděpodobností selhání jednotlivých prvků (subsystému) použitých v bezpečnostních funkcích. Bezpečnost modelu je také ověřena pomocí nástroje safety evaluation tool.

V kapitole 5 je uveden postup zprovoznění laboratorního modelu. Je zde popis nastavení frekvenčního měniče, nastavení komunikace a naprogramování řídicí a bezpečnostní aplikace.

V kapitole 6 je otestována funkčnost navrženého systému a naprogramované aplikace. Je zde primárně testováno nouzové zastavení stroje a podmínky, při kterých nesmí být stroj uveden do pohybu.

Na závěr jsou zhodnoceny dosažené výsledky, a zda laboratorní model odpovídá bezpečnostním požadavkům.

2 Bezpečnost a normy

Výrobci strojů a zařízení se snaží docílit toho, aby jejich zařízení správně fungovalo, plnilo požadované úkony s minimem poruch, ale také aby bylo bezpečné pro obsluhu a prostředí, ve kterém je provozováno.

Zajištění bezpečnosti strojů a zařízení není nijak jednoduché. Je nutné se jím zabývat již při začátku návrhu projektu a pak je co nejlépe zahrnout hned od počátku do samotné mechanické konstrukce strojů. Jednotlivé požadavky, které musí výrobce splnit při návrhu, k potlačení rizik, jsou popsány v jednotlivých normách.

2.1 Rozdělení norem

Normy lze rozdělit do tří skupin:

- A-normy (Základní bezpečnostní normy) poskytují základní pojmy a zásady pro projektování a konstrukci a obecná hlediska, která mohou být aplikována na všechny stroje.[2]
- B-normy (Skupinové bezpečnostní normy) se zabývají jedním bezpečnostním aspektem nebo jedním typem bezpečnostního zařízení, které může být použito pro větší počet strojů. Pojednávají o bezpečnostních požadavcích nebo bezpečnostních zařízeních, které je možné použít pro širokou škálu strojů. Mezi B-normy se pak řadí normy typu B1 jednotlivých bezpečnostních aspektů pro speciální bezpečnostní požadavky (např. bezpečnostní vzdáleností, teploty povrchu, hluku, elektrickou bezpečnost strojů, výpočet bezpečné vzdálenosti, požadavky na řídicí systémy apod.) a normy typu B2 pro bezpečnostní zařízení (například dvouruční ovládání a bezkontaktně působící ochranná zařízení).[2]
- C-normy (Speciální bezpečnostní normy pro stroje) určují detailní bezpečnostní požadavky pro jednotlivý stroj nebo skupinu strojů. Obsahují bezpečnostní požadavky na speciální stroje nebo konstrukční skupinu strojů. Obvykle se zde jedná buď o zařízení velmi náročných podmínek (výbušné prostředí, velmi čistá / hygienická prostředí, prostředí s radiací apod.), nebo o speciální "atypické" stroje a konstrukce. Pokud taková norma existuje, má přednost před A nebo B-normou. Přesto může být C-norma přijímána ve vztahu k A nebo B normě a vždy musí být splněny požadavky směrnice pro stroje.[2]

2.2 Popis norem

Dále se budu zabývat podrobnějším popisem jednotlivých norem

2.2.1 ČSN EN ISO 13849

Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: všeobecné zásady pro konstrukci. Tato část ISO 13849 je určena jako návod pro ty, kteří se zabývají konstrukcí a posuzováním ovládacích systémů a dále pro technické komise připravující normy typu B2 a C. Tato norma nahrazuje ČSN EN 954, jenž byla podobná. Pro snížení rizika u stroje, volí konstruktér pro snížení rizika některá opatření pomocí aplikace ochranných zařízení plnících jednu nebo více bezpečnostních funkcí. Části ovládacích systémů, které jsou určeny k plnění bezpečnostních funkcí, jsou nazývány bezpečnostní části ovládacích systémů (SRP/CS) a tyto části mohou obsahovat hardware a software a mohou být buď oddělené od ovládacího systému stroje, nebo mohou být jeho integrální součástí. Kromě bezpečnostních funkcí mohou SRP/CS poskytovat také provozní funkce (např. dvouruční ovládání jako prostředek iniciace procesu). [6]

2.2.2 ČSN EN ISO 62061

Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Tato mezinárodní norma je určena pro konstruktéry strojního zařízení, výrobce řídicích systémů, montážní pracoviště a ostatní pracovníky, kteří se podílejí na specifikaci, návrhu a potvrzení platnosti (validace) SRECS. Stanovuje postupy a požadavky pro dosažení požadované funkce. Tato norma patří do oblasti norem strojního zařízení v rámci IEC 61508. Je určena pro usnadnění specifikace funkce řídicích systémů vztahujících se k bezpečnosti s ohledem na významná nebezpečí spojená se strojem. [5]

Norma je rámcovou normou z oblasti strojního zařízení týkající se funkční bezpečnosti SRECS strojů. Obsahuje pouze ta hlediska bezpečnostního životního cyklu, která se vztahují k určení bezpečnostních požadavků na základě potvrzení platnosti bezpečnosti. Uvedené požadavky o bezpečném používání SRECS (Safety-Related Electrical Control System) mohou také sloužit pro další fáze životního cyklu SRECS. Existuje mnoho situací u strojů s použitím SRECS, jako části bezpečnostních opatření, které byly použity pro dosažení snížení rizika. Typickým příkladem je použití ochranného krytu s blokováním, který v případě otevření pro umožnění přístupu do nebezpečného prostoru zajistí, aby řídicí systém zamezil vykonávání nebezpečné funkce stroje. Také v automatizaci přispívá elektrický řídicí systém použitý pro dosažení správné funkce stroje k bezpečnosti snížením rizik spojených s nebezpečími vznikajícími přímo v důsledku poruch řídicího systému. [5]

Tato norma poskytuje metodiku a požadavky pro:

- stanovení požadované integrity bezpečnosti pro každou řídicí funkci související s bezpečností, která má být v rámci SRECS realizována
- umožnění návrhu SRECS odpovídajícího stanoveným řídicím bezpečnostním funkcím
- začlenění podsestav vztahujících se k bezpečnosti podle ISO 13849
- potvrzení platnosti (validace) SRECS

2.2.3 ČSN EN ISO 14121-1

Tato část ISO 14121 stanovuje všeobecné zásady určené k použití tak, aby byly splněny cíle snížení rizika stanovené v kapitole 5 v ISO 12100-1:2003. Tyto zásady posouzení rizika slučují znalosti a zkušenosti z konstrukce, používání, nehod, úrazů a škod u strojních zařízení tak, aby mohla být posouzena rizika v relevantních fázích životního cyklu stroje. Norma uvádí pokyny a informace, které budou požadovány k umožnění provedení posouzení rizika. Jsou popsány postupy k identifikaci nebezpečí a odhadu a zhodnocení rizika. Také uvádí pokyny, jaká provést rozhodnutí, která se týkají bezpečnosti strojních zařízení a jaký druh dokumentace je požadován k ověření provedení posouzení rizika.[7]

2.2.4 ČSN EN ISO 60204-1

Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů. Část 1: Všeobecné požadavky. Tato část normy ČSN EN 60204 platí pro používání elektrických, elektronických a programovatelných elektronických zařízení a systémů u strojů, které nejsou během činnosti přenosné rukou, včetně skupiny strojů, které pracují společně koordinovaným způsobem. [8]

V této části normy termín elektrický zahrnuje elektrické, elektronické a programovatelné elektronické předměty/zařízení. Platí také pro elektrické zařízení nebo části elektrických zařízení, které pracují se jmenovitými napájecími napětími nepřesahujícími 1000 V, v případě střídavého proudu 15 (AC) a 1500 V, v případě stejnosměrného proudu (DC) a se jmenovitými napájecími kmitočty nepřesahujícími 200 Hz.[8]

Zařízení, na které se vztahuje tato část ČSN EN 60204, začíná v místě připojení napájení k elektrickému zařízení stroje. [8]

Norma nezahrnuje všechny požadavky (např. na ochranu, blokování nebo řízení), které jsou stanoveny jinými normami nebo předpisy kvůli ochraně osob před jinými než elektrickými nebezpečími. Každý typ stroje vyžaduje splnění specifických požadavků pro zajištění přiměřené bezpečnosti.[8]

2.2.5 ČSN EN ISO 12100

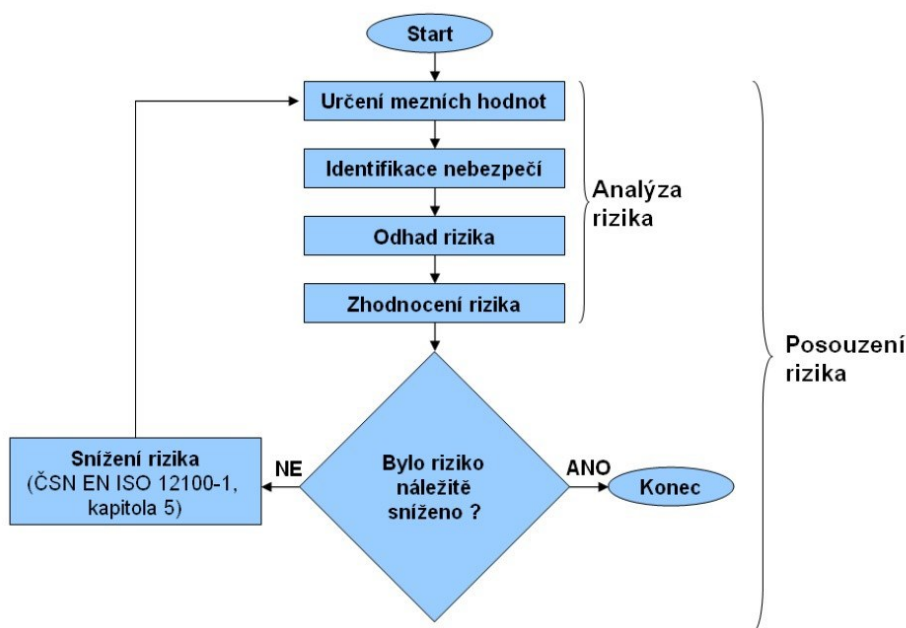
Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. Norma se zabývá základní terminologií a metodologií používanou k dosažení bezpečnosti strojního zařízení a zároveň definuje technické zásady, které pomohou konstruktérům dosáhnout bezpečné konstrukce strojního zařízení. Pojem bezpečnost strojního zařízení bere v úvahu schopnost stroje vykonávat jeho předpokládanou funkci během celé životnosti.[9]

2.3 Posouzení rizika

Posouzení rizika je řadou logických kroků, které umožňují analyzovat a vyhodnotit rizika spojená s daným strojním zařízením. Pokud je nezbytné snížení rizika, postupujeme dle normy ČSN EN ISO 12100-1 kapitola 5. Tento postup můžeme opakovat, dokud nebude sníženo riziko dostatečným způsobem. Posouzení rizika se provádí ve všech fázích životního cyklu stroje (montáž, provoz, oprava, demontáž apod.).[2]

V souladu s normou ČSN EN ISO 12100-1, by se měli projektanti řídit tímto systematickým postupem viz (Obr. 1):

1. Určení mezních hodnot a správného používání stroje – cílem této fáze je důkladné pochopení vlastního stroje a jeho použití. Posuzují s zde všechny fáze života stroje jako instalace, uvedení do provozu, údržba a provoz. [1]
2. Identifikace možného nebezpečí a nebezpečných situací – identifikace všech možných nebezpečí, jejich povahy a umístění, a zda se možná nebezpečí nekryjí a možným výskytem osob. [1]
3. Odhad míry rizika pro každé identifikované nebezpečí a nebezpečnou situaci a současné posouzení předvídatelných pochybení nebo chybné práce se strojem ze strany obsluhy – ujištění jak velká opatření jsou potřeba k předejití úrazu, nebo pokud je riziko tak malé že jej lze tolerovat. [1]
4. Zhodnocení jednotlivých rizik a rozhodnutí, zda je jejich snížení rizik nutné či nikoli – pokud bylo riziko zhodnoceno jako velké, je důležité ujistit se že, riziko bylo dostatečně odstraněno. Pokud ne? Je potřeba celý postup opakovat. [1]



Obr. 1: Diagram posouzení rizika [1]

Základní metoda pro snížení rizika se provádí podle následujících 3 kroků:

1. Snížení rizik opatřeními zabudovanými v konstrukci stroje (např. oplocení, volba materiálu stroje, konstrukce...).
2. Snížení rizik bezpečnostní ochranou a doplňkovými ochrannými opatřeními.

3. Snížení rizik informacemi pro používání strojního zařízení (obsluha, seřizování a servis, montáž a demontáž, ochranné pomůcky, zbytkové riziko...). [2]

Zvolíme vhodný bod ke snížení rizika, je vhodné postupovat od bodu 1 k bodu 3. Nebo jako opatření může být zvolena kombinace všech tří možností

2.4 ČSN EN ISO 62061 podrobně

Základní popis normy je uveden výše, zde se budeme podrobněji zabývat obsahem této normy. Při návrhu je vhodné používat pouze jedinou normu. Tato Norma využívá numerický postup vyčíslení rizika/bezpečnosti, kde výsledkem je hodnota SIL, a je zaměřena hlavně na elektrické a elektronické řešení bezpečnosti strojů. Nelze aplikovat na neelektrické systémy (např. hydraulické). [5]

Definice vybraných termínů [5]:

Elektrický řídicí systém – Všechny elektrické, elektronické a programovatelné elektronické části řídicího systému stroje, použité např. pro zajištění funkčního řízení, monitorování, blokování, atd.

Subsystém – entita vrcholové úrovně konstrukční architektury SRCES, kdy porucha jednoho subsystému má za následek poruchu řídicí funkce související s bezpečností. Části vznikající dalším dělením subsystému se nazývají „prvky subsystému“.

Nebezpečí (ze strojního zařízení) – potenciální zdroj fyzického zranění nebo poškození zdraví.

Bezpečnostní funkce – funkce stroje, jejíž porucha může vést k okamžitému zvýšení rizika.

Integrita bezpečnosti – Pravděpodobnost že SRCES nebo jeho subsystémy budou vykonávat požadované řídicí funkce, související s bezpečností za všech stanovených podmínek.

Úroveň integrity bezpečnosti SIL - diskrétní úroveň (jedna ze tří možných) pro stanovení požadavků integrity bezpečnostní řídicí funkcí související s bezpečností.

Střední doba do nebezpečné poruchy (MTTFd) – očekávaná střední doba do nebezpečné poruchy.

Diagnostické pokrytí (DC) – míra účinnosti diagnostiky

Pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu (PFH_D) – střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu. [5]

Pro každou bezpečnostní funkci musí být určena a zdokumentována úroveň integrity bezpečnosti SIL, pro každou bezpečnostní funkci zvlášť. Určení požadované integrity bezpečnosti je výsledkem posouzení rizika a vyjadřuje rozsah jeho snížení, který je dosažen pomocí bezpečnostních částí ovládacího systému. Požadovaná úroveň integrity bezpečnosti se určuje pomocí parametrů Se (závažnost škody) a pravděpodobnosti výskytu škody dané, Fr (četnosti), Pr (pravděpodobnost výskytu nebezpečných událostí) a Av (možnosti vyvarování se škodě). Jednotlivé parametry jsou vypsány níže v tabulkách. [5]

Tab. 1: Třída závažnosti (Se) [5]

Následky	Závažnost (Se)
Trvalé: smrt, ztráta oka nebo paže	4
Trvalé: zlomená(é) končetina(y), ztráta prstu(ů)	3
Přechodné: vyžadující ošetření praktickým lékařem	2
Přechodné: vyžadující ošetření na první pomoci	1

Tab. 2: Třída frekvence a doby trvání ohrožení (Fr) [5]

Frekvence ohrožení	Doba trvání > 10 min
≤ 1 h	5
> 1 h až ≤ 1 den	5
> 1 den až ≤ 2 týdny	4
> 2 týdny až ≤ 1 rok	3
> 1 rok	2

Tab. 3: Třída pravděpodobnosti (Pr) [5]

Pravděpodobnost výskytu	Pravděpodobnost (Pr)
Velmi vysoká	5
Pravděpodobná	4
Možná	3
Vyjímečná	2
Zanedbatelná	1

Tab. 4: Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av) [5]

Pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av)	
Nemožné	5
Možné za určitých podmínek	3
Pravděpodobné	1

Pro každé nebezpečí, a pokud přichází v úvahu, pro každý stupeň závažnosti škody, se vypočte třída pravděpodobnosti škody Cl.

$$Cl = Fr + Pr + Av$$

Hodnotu SIL určíme podle závažnosti Se a hodnoty Cl.

Tab. 5: Matice určení SIL [5]

Závažnost (Se)	Třída (Cl)				
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		(OM)	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			(OM)	SIL 1	SIL 2
1				(OM)	SIL 1

Po zjištění hodnoty SIL přiřazené k bezpečnostní funkci je potřeba pro jednotlivé riziko vytvořit bezpečnostní funkci, která bude snižovat riziko pomocí bezpečnostních prvků. S použitými bezpečnostními prvky je potřeba provést návrh diagnostické bezpečnostní funkce. Z vypočtených hodnot PFH_D (pravděpodobnosti nebezpečné náhodné poruchy), pro každý prvek. Poté je určena výsledná hodnota SIL.

Postup pro výpočet odhadu pravděpodobnosti náhodné poruchy hardwaru subsystému je dělen do několika základních architektur. Pro elektromechanické přístroje je intenzita poruch určena pomocí hodnoty B₁₀ a počtu provozních cyklů C. [5]

Architektura A – nulová odolnost proti vadám bez diagnostické funkce

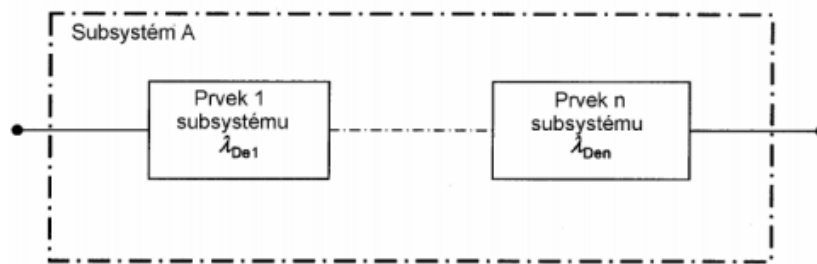
Pravděpodobnost nebezpečné poruchy [5]:

$$\lambda_{DSSA} = \lambda_{De1} + \dots + \lambda_{Den} \quad (2.1)$$

kde: $\lambda_{DSSA}, \lambda_{De1}, \lambda_{Den}$, - intenzita nebezpečných poruch

$$PFH_{DSSA} = \lambda_{DSSA} \cdot 1h \quad (2.2)$$

kde: PFH_{DSSA} - střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu



Obr. 2: Logické znázornění subsystému A [5]

Architektura B – odolnost proti jednotlivé vadě bez diagnostické funkce

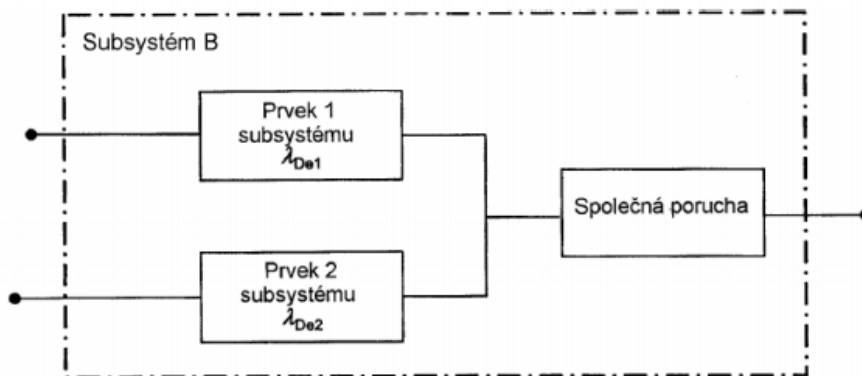
Pravděpodobnost nebezpečné poruchy [5]:

$$\lambda_{DssB} = (1 - \beta)^2 \cdot \lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2} \cdot T_1 + \beta \cdot \frac{(\lambda_{De1} + \lambda_{De2})}{2} \quad (2.3)$$

kde: $\lambda_{DssB}, \lambda_{De1}, \lambda_{De2}$, - intenzita nebezpečných poruch
 T_1 - interval kontrolní zkoušky nebo doba života
 β - citlivost na společné poruchy

$$PFH_{DssB} = \lambda_{DssB} \cdot 1h \quad (2.4)$$

kde: PFH_{DssB} - střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu



Obr. 3: Logické znázornění subsystému B [5]

Architektura C – nulová odolnost proti vadám s diagnostickou funkcí

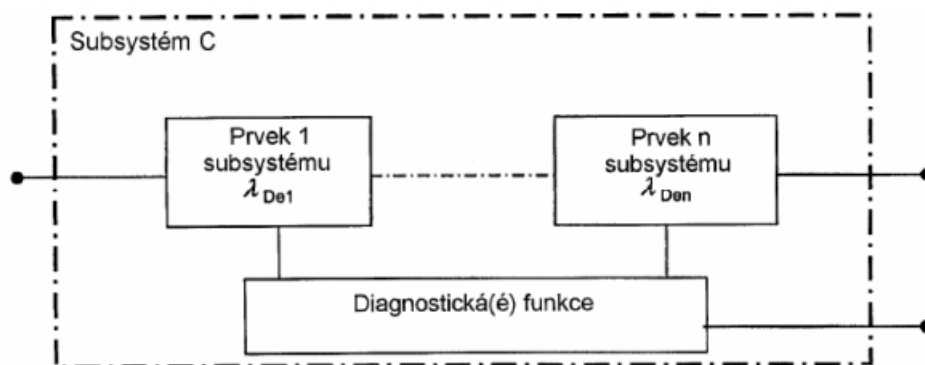
Pravděpodobnost nebezpečné poruchy [5]:

$$\lambda_{DSSC} = \lambda_{De1}(1 - DC_1) + \dots + \lambda_{Den}(1 - DC_n) \quad (2.5)$$

kde: $\lambda_{DSSC}, \lambda_{De1}$ - intenzita nebezpečných poruch
 DC_1, DC_n - diagnostické pokrytí prvku

$$PFH_{DSSC} = \lambda_{DSSC} \cdot 1h \quad (2.6)$$

kde: PFH_{DSSC} - střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu



Obr. 4: Logické znázornění subsystému C [5]

Architektura D – odolnost proti jednotlivé vadě s diagnostickou funkcí

Prvky subsystému s rozdílnou konstrukcí [5]:

$$\lambda_{DSSD} = (1 - \beta)^2 \cdot \{[\lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2} \cdot (DC_1 + DC_2)]\} \cdot \frac{T_2}{2} \quad (2.7)$$

$$+ \left\{ [\lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2} \cdot (2 - DC_1 + DC_2)] \cdot \frac{T_1}{2} \right\} + \beta \cdot \frac{(\lambda_{De1} + \lambda_{De2})}{2}$$

kde: $\lambda_{DSSD}, \lambda_{De1}, \lambda_{De2}$ - intenzita nebezpečných poruch
 T_1 - interval kontrolní zkoušky nebo doba života
 T_2 - interval diagnostické zkoušky
 β - citlivost na společné poruchy
 DC_1, DC_2 - diagnostické pokrytí prvku

$$PFH_{DSSC} = \lambda_{DSSC} \cdot 1h \quad (2.8)$$

kde: PFH_{DSSD} - střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu

Prvky subsystému stejné konstrukce [5]:

$$\lambda_{DSSD} = (1 - \beta)^2 \cdot [\lambda_{De}^2 \cdot 2 \cdot DC] \cdot \frac{T_2}{2} + \{[\lambda_{De}^2 \cdot (1 - DC)] \cdot T_1\} + \beta \cdot \lambda_{De} \quad (2.9)$$

kde: $\lambda_{DSSD}, \lambda_{De}$ - intenzita nebezpečných poruch

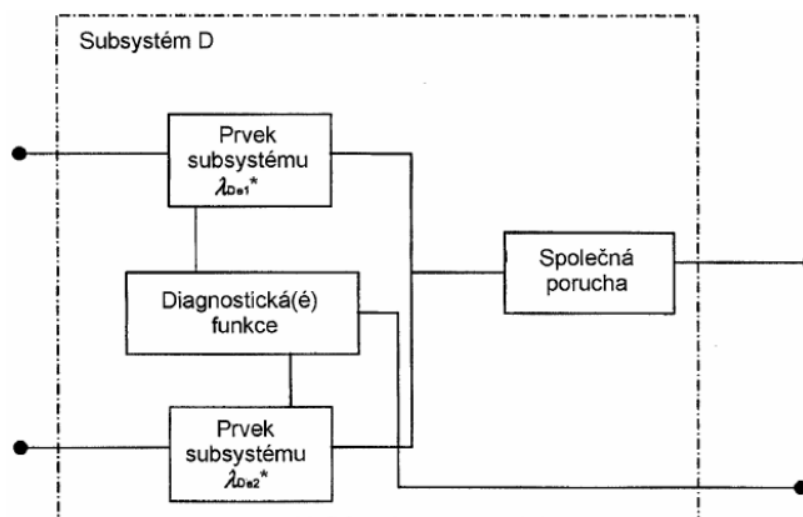
T_2 - interval diagnostické zkoušky

β - citlivost na společné poruchy

DC - diagnostické pokrytí prvku

$$PFH_{DSSD} = \lambda_{DSSD} \cdot 1h \quad (2.10)$$

kde: PFH_{DSSD} - střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu



Obr. 5: Logické znázornění subsystému D [5]

3 Bezpečnostní prvky u pohonů

3.1 Frekvenční měniče

Při návrhu pohonů se dnes stále více používají frekvenční měniče s implementovanými bezpečnostními funkcemi přímo v měničích, proto není potřeba celé množství dalších bezpečnostních obvodů. Splníme tak požadované hodnoty SIL a zbytečně nezvyšujeme náklady. Funkce jsou integrovány v měniči neboli Safety integrated.

Frekvenční měniče obsahují bezpečnostní vstupy a výstupy, takže je možno k nim připojit např. tlačítka nouzového zastavení.

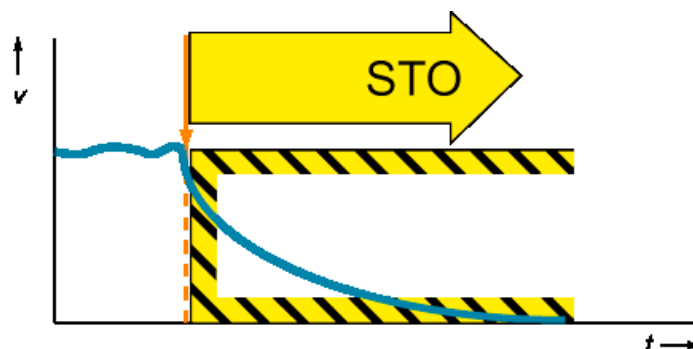


Obr. 6: Frekvenční měniče

3.1.1 Bezpečnostní funkce v měniči

Safe Torque Off (STO) – Bezpečný stav STOP

Tato funkce svým mechanismem zajistí měnič proti neočekávanému spuštění dle EN 60204-1. Funkce STO blokuje řídicí pulsy k výkonové jednotce a zajistí tak odpojení motoru od napájení (to odpovídá stavu STOP Kategorie 0 dle EN 60204-1). Pohon je tedy ve stavu bez momentu na hřídeli motoru. Tento stav je dále v měniči interně kontrolován. [4]

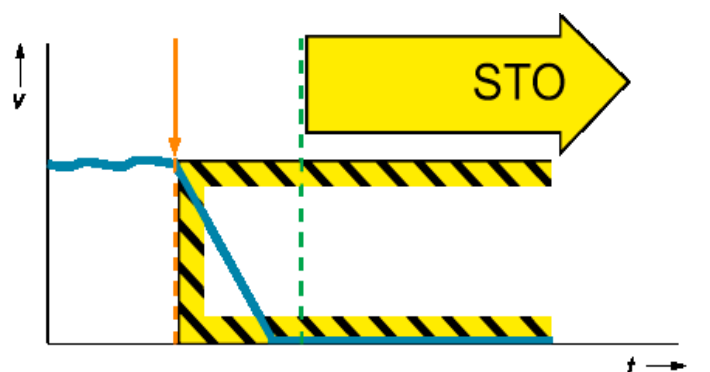


Obr. 7: STO[4]

Funkce STO způsobí okamžité odpojení motoru od měniče, tzv. volný doběh motoru. Funkce STO se používá v případech, kde zátěž je takového charakteru, že pohon se zastaví okamžitě nebo v krátkém čase působením tření nebo momentu na hřídeli motoru a tato prodleva nemá vliv na bezpečnost pohonu. [4]

Safe Stop 1 (SS1) – Bezpečné zastavení

Funkce SS1 bezpečně zastaví pohon dle EN 60204-1, STOP Kategorie 1. Aktivací funkce SS1 začne měnič automaticky snižovat výstupní frekvenci po nastavené a monitorované doběhové rampě s tím, že po dosažení frekvence 2 Hz na výstupu automaticky aktivuje funkci STO a SBC (bezpečné řízení brzdy motoru). V případě že měnič nemůže dodržet předem nastavenou doběhovou rampu a je požadováno zastavení, pak měnič aktivuje funkci STO a případně i SBC. [4]

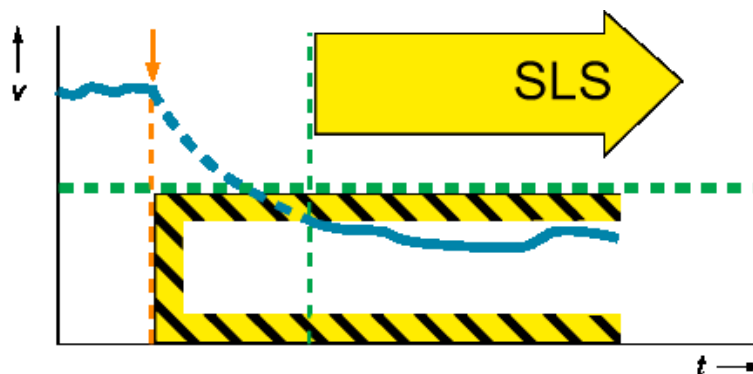


Obr. 8: SS1

Funkce SS1 eliminuje náročné požadavky na komplexní externí sledování průběhu zastavení pohonu. Navíc v případě častého požadavku na bezpečné brzdění lze s výhodou použít uvedené mechanismy a tak snížit náklady na údržbu nebo redukovat mechanické stresy pohonu. Funkce SS1 je navržena pro použití v aplikacích, kde je požadováno kontrolované zastavení. Typickým příkladem jsou centrifugy nebo dopravníky. [4]

Safe Limited Speed (SLS) - Bezpečná rychlost

Funkce SLS sleduje otáčky motoru řízeného měničem a podle nastaveného módu buď sníží otáčky motoru na bezpečnou hodnotu, nebo sleduje zda, nebyly bezpečné otáčky překročeny. V případě nedodržení bezpečných podmínek provozu (např. měnič nesleduje nastavenou rampu nebo překročí maximální povolené otáčky), je aktivován ochranný mechanismus, který aktivuje funkci SS1 a následně STO, případně i SBC. [4]

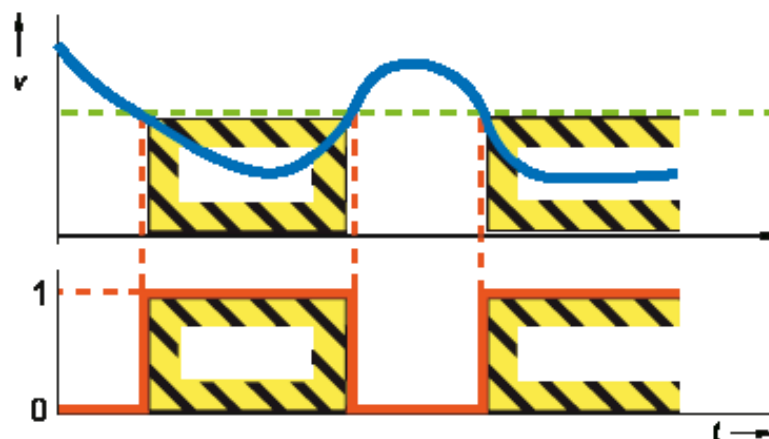


Obr. 9: SLS

Použitím funkce SLS dochází ke snížení otáček stroje nebo hlídání bezpečných otáček. Tak je dosaženo podstatně větší bezpečnosti osob obsluhujících stroje, ale i úspore času (protože stroj není potřeba při snížených otáčkách vypínat). [4]

Safe Speed Monitor (SSM) – Bezpečné hlídání rychlosti

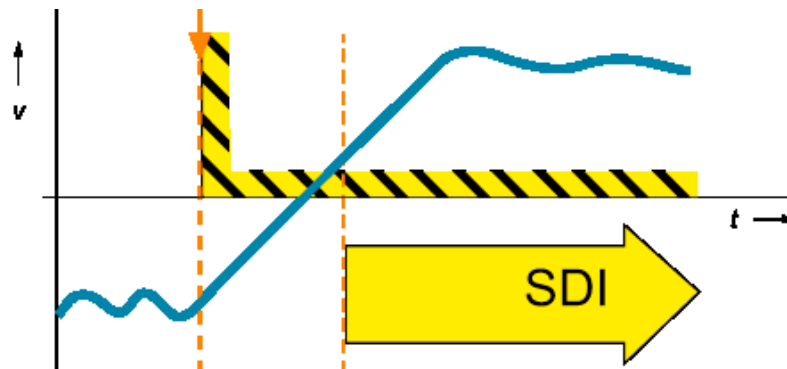
Tato funkce signalizuje výstupním signálem stav, kdy rychlost pohonu je nižší než definovaná mez.



Obr. 10: SSM

Saf Direction (SDI) – Bezpečné hlídání směru

Tato funkce zajistí chod pohonu ve správném směru.



Obr. 11: SDI

Pokud například portálový jeřáb dojde na koncové spínače, funkce zajistí rozjezd jeřábu správným směrem. [4]

3.2 Elektromechanická přídržná brzda motoru

Elektromechanická brzda slouží k tomu, že motor po zastavení nebo po odpojení napájení zůstane zastaven. Díky tomu nám závaží na kladce nespadne vlastní vahou. U tohoto projektu není potřeba brzda, vzhledem k samosvornosti převodovky. U bezpečnostních aplikací se používá brzda zdvojená.



Obr. 12: Elektromechanická brzda

Elektromechanická brzda je ovládána pomocí frekvenčního měniče parametrem SBC (Safety Brake Control). Tímto signálem je ovládáno Safety brake relay. Po přivedení napětí na cívku brzdy se brzda odpojí.

4.2 Analýza rizika

Určuje nebezpečné oblasti, které mohou zapříčinit zranění. Jedná se o oblast motoru a oblast kladky. Podle normy ČSN EN 62061 by měli být řídicí funkce související s bezpečností SRECS určené požadavky integrity bezpečnosti pro každé nebezpečí samostatně. Pro oblast motoru budeme považovat za nebezpečnou část oblast točivých částí motoru a převodovky v druhé oblasti je to kovové závaží. Dále si uvedeme možnosti nebezpečí a zranění.

Pro identifikaci nebezpečí je nutné snížit riziko za použití SRCF, k tomu poslouží odhad rizika podle normy ČSN EN 62061.

Odhad rizika se určuje pro každé nebezpečí zvlášť, určí se podle: [5]

- Ze závažnosti zranění nebo poškození Se, viz *Tab. 1*.
- Z pravděpodobnosti výskytu škody Cl, která se skládá z:
 - Frekvence a doba trvání ohrožení osob nebezpečím Fr, viz *Tab. 2*.
 - Pravděpodobnosti výskytu nebezpečných událostí Pr, viz *Tab. 3*.
 - Možnostmi se vyvarovat nebo omezit škodu Av viz *Tab.4*

Závažnost (Se)

Pracovní oblast (kladka, závaží, lano):

Třída závažnosti byla určena podle (*Tab. 1*), jako $Se = 3$, protože pokud-by závaží opustilo vymezený prostor mohlo-by dojít k pohmožděním, zlomeninám od závaží nebo pořezání.

Motorová oblast:

Zde byla určena třída závažnosti jako $Se = 3$, protože při roztočení hřídele může dojít k trvalým následkům např: ztráta prstů, zlomeninám. Pokud není bezpečně uzavřen kryt motoru.

Frekvence a doba ohrožení (Fr)

Pracovní oblast (kladka, závaží, lano):

Třída frekvence a doba trvání ohrožení byla určena podle (*Tab. 2*), jako $Fr = 5$, protože se vycházelo z přístupu do nebezpečné oblasti při používání, hlavně během vyučujících hodin v učebně.

Motorová oblast:

Třída frekvence a doba trvání ohrožení byla určena podle (*Tab. 2*), jako $Fr = 5$, protože se též vycházelo z přístupu do nebezpečné oblasti při používání, hlavně během vyučujících hodin v učebně.

Třída pravděpodobnosti (Pr)

Pracovní oblast (kladka, závaží, lano):

Třída pravděpodobnosti byla určena podle (*Tab. 3*), jako $Pr = 5$. Norma doporučuje, velmi vysokou pravděpodobnost vzniku nebezpečné události při respektování omezení, při normální funkci nebo za nepříznivých podmínek. Pro nižší úroveň pravděpodobně musí existovat důvody jako velmi vysoká znalost uživatele nebo správně fungující aplikace, ale model je v laboratoři, kde na něm pracují většinou žáci.

Motorová oblast:

Třída pravděpodobnosti byla určena podle (*Tab. 3*), jako $Pr = 5$. U motorové oblasti platí to samé jako u pracovní oblasti.

Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av)

Pracovní oblast (kladka, závaží, lano):

Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody byla určena z (*Tab. 4*), jako $Av = 3$. Protože je možné za určitých podmínek se vyvarovat nebo omezit škodu pokud budeme například dodržovat pokyny vyučujícího nebo manuálu.

Motorová oblast:

Třída pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody byla určena z (*Tab. 4*), jako $Av = 3$. Platí zde to samé jako u pracovní oblasti

Třída pravděpodobnosti škody (Cl)

Třída pravděpodobnosti škody CL je součtem frekvence a doby trvání ohrožení (Fr), Třídy pravděpodobnosti (Pr) a třídy pravděpodobnosti vyvarování se nebo omezení škody (Av). $Cl = Fr + Pr + Av$.

Pracovní oblast (kladka, závaží, lano):

Třída pravděpodobnosti škody je tedy $Cl = 5 + 5 + 3 = 13$.

Motorová oblast:

Třída pravděpodobnosti škody je tedy $Cl = 5 + 5 + 3 = 13$.

Výsledná hodnota SIL

Pracovní oblast (kladka, závaží, lano):

Podle hodnoty CL a Se vyšla podle (Tab. 5) požadovaná hodnota SIL = 2.

Motorová oblast:

Podle hodnoty CL a Se vyšla podle (Tab. 5) požadovaná hodnota SIL = 2.

4.3 Návrh řídicího systému souvisejícího s bezpečností (SRECS)

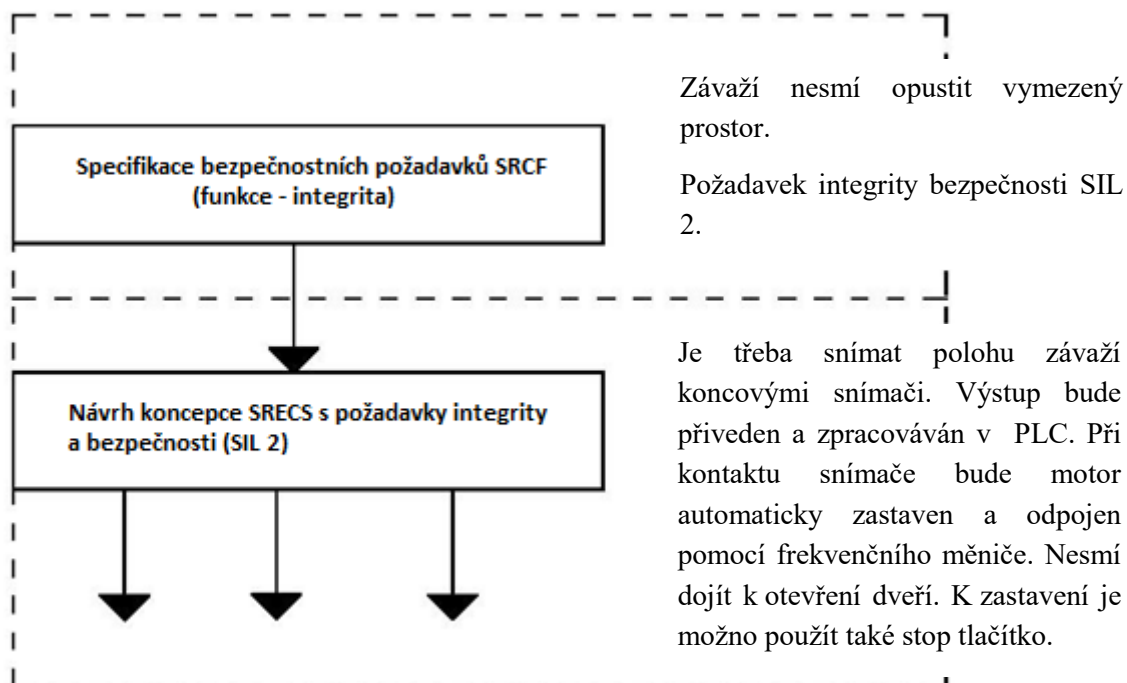
Pro laboratorní model polohovacího systému je potřeba navrhnout 2 bezpečnostní funkce SRECS. Jednu pro pracovní oblast a druhou pro motorovou oblast. Návrh bude splňovat úroveň SIL pro dané oblasti.

4.3.1 Návrh řídicího bezpečnostní funkce pro závaží

Specifikace bezpečnostních funkcí SRCF:

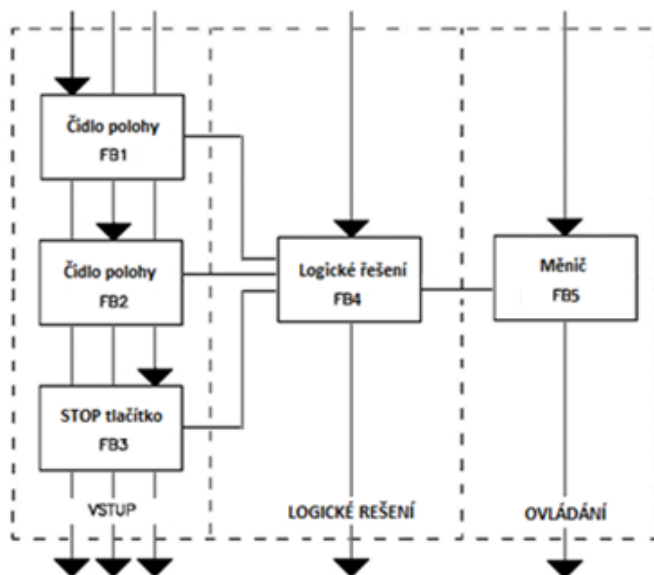
Specifikace požadavku na SRCF – Závaží nesmí opustit vymezený prostor.

Návrh a vývoj SRECS



Obr. 14: Návrh a vývoj SRECS

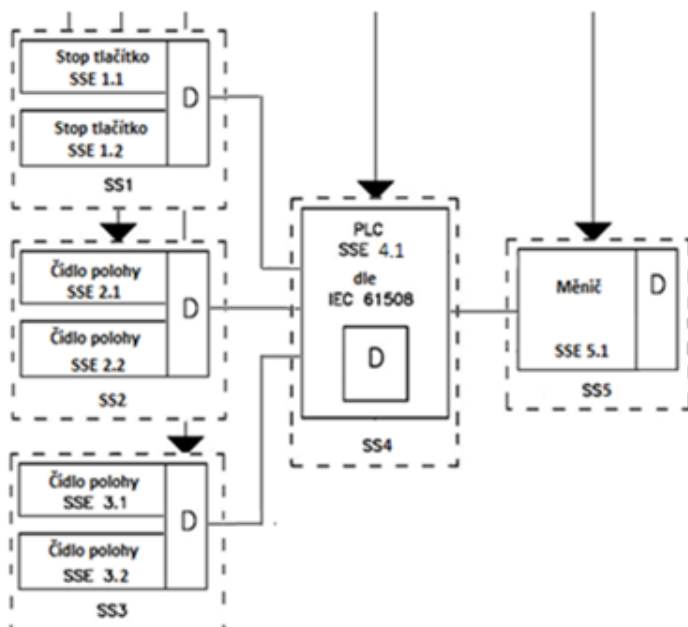
Prvky realizující funkční bloky musí mít stejnou nebo vyšší hodnotu SIL jako je hodnota přiřazená k SRCF.



Funkční bloky (FB) patří do vrcholové úrovně dekompozice bezpečnostní funkce, kdy porucha kteréhokoliv funkčního bloku způsobí poruchu bezpečnostní funkce.[5]

Obr. 15: Funkční bloky

Každý funkční blok v rámci architektury SRECS byl přiřazený do subsystému. Subsystémy jsou složené z prvků subsystému a z diagnostických funkcí pro zjištění a detekce závad a podniknutí příslušných opatření.



Subsystémy (SS) realizují funkční bloky a tvoří vrcholovou úroveň architektury návrhu SRECS, kde porucha kteréhokoliv subsystému má za následek poruchu bezpečnostní funkce. [5]

Obr. 16: Subsystémy

Prvky subsystému (SSE) jsou součástí, které realizují prvky funkčního bloku přiřazené do subsystému. Diagnostické funkce D se považují za samostatné funkce, které mohou mít vlastní strukturu. [5]

Mohou být splněné:

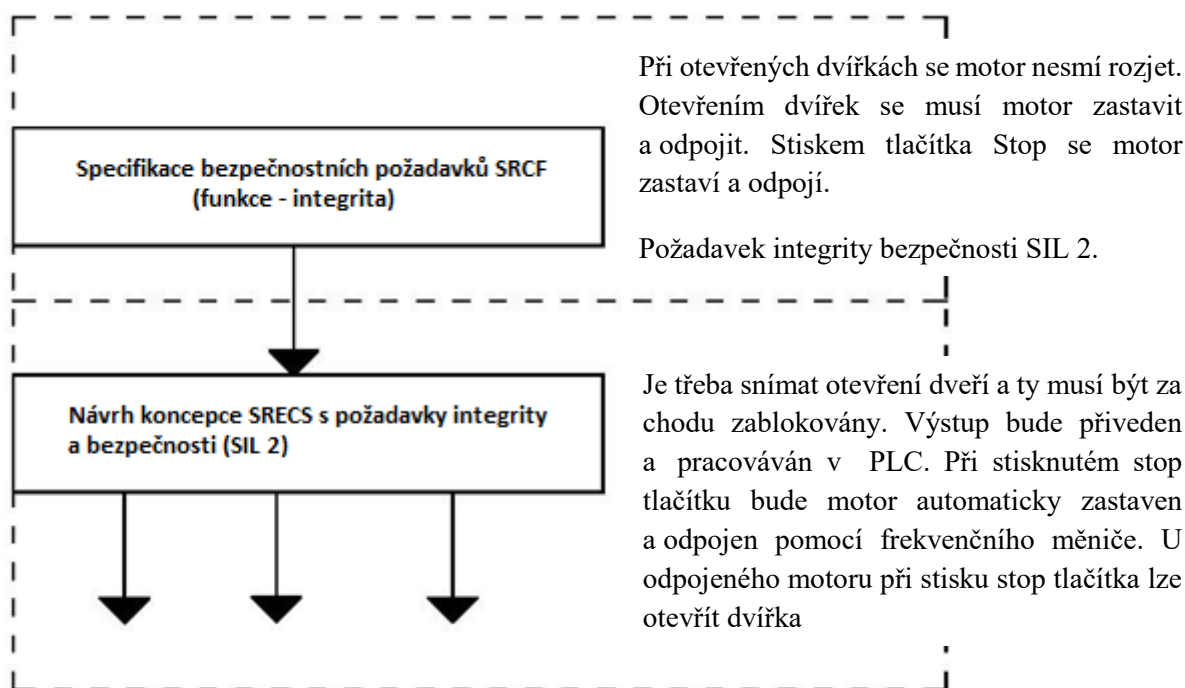
- v rámci subsystému
- jiným subsystémem v rámci SRECS
- subsystémem nepatřícím do SRECS [5]

4.3.2 Návrh řídicího bezpečnostní funkce pro motor

Specifikace bezpečnostních funkcí SRCF:

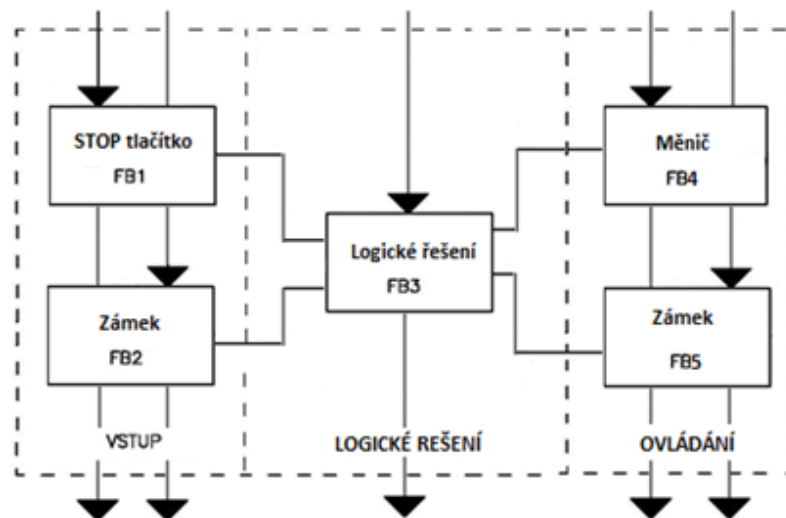
Specifikace požadavku na SRCF – Při otevřených dvířkách se motor nesmí rozjet. Otevřením dvířek se musí motor zastavit a odpojit. Stiskem tlačítka stop se motor zastaví.

Návrh a vývoj SRECS



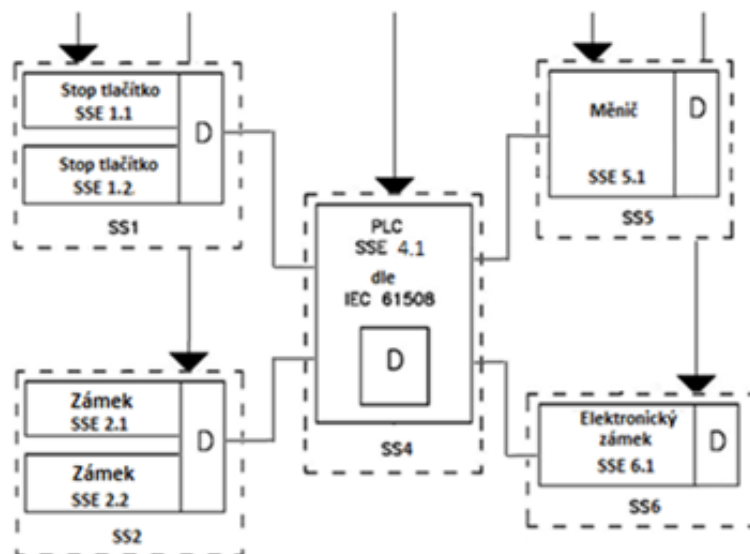
Obr. 17: Návrh a vývoj SRECS

Prvky realizující funkční bloky musí mít stejnou nebo vyšší hodnotu SIL jako je hodnota přiřazená k SRCF.



Obr. 18: Funkční bloky

Každý funkční blok v rámci architektury SRECS bol přiřazený do subsystému. Subsystémy jsou složeny z prvků subsystému a z diagnostických funkcí pro zjištění a detekce závad a podniknutí příslušných opatření.

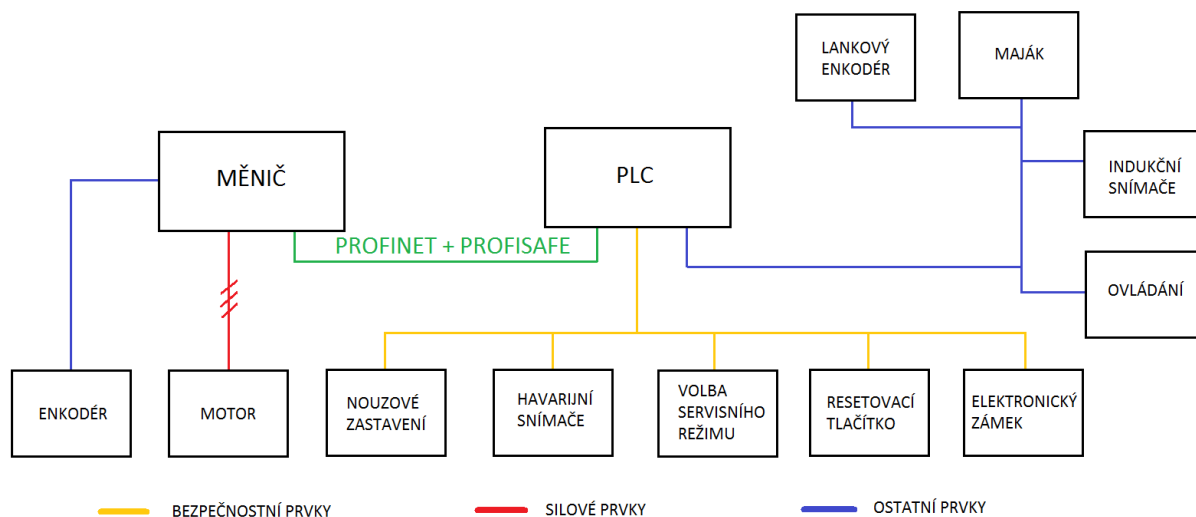


Obr. 19: Subsystémy

4.4 Zvolené komponenty modelu

4.4.1 Blokové schéma

V blokovém schématu jsou žlutou barvou připojeny prvky, které budou sloužit pro splnění požadované bezpečnostní funkce. Modrou barvou jsou připojeny ostatní prvky pro základní funkce pohybu. Podrobnější schéma zapojení jednotlivých prvků je v příloze D.



Obr. 20: Blokové schéma

4.4.2 PLC

Jako řídicí jednotka bylo zvoleno PLC SIEMENS SIMATIC ET 200SP. Jedná se o decentralní periferie, ale obsahuje i procesor, proto je možné ji použít samostatně a nahrát do ní program pro řízení. Jedná se o Safety PLC, pozná se to tím, že CPU, obsahuje v názvu písmeno F (CPU 1512 F-1 PN). Pro připojení bezpečnostních prvků slouží vstupní a výstupní bezpečnostní I/O karty. Díky tomu že je použito bezpečnostní CPU s I/O, není potřeba použít zvlášť bezpečnostní relé pro ochranné prvky.

Pro připojení dalších prvků slouží vstupní a výstupní karty. Je zde použita také karta TM POSINPUT, která slouží pro připojení lankového enkodéru.

PLC je zařízení typu master, ve kterém bude nahrán program. Zařízení komunikuje pomocí rozhraní ProfiSafe s frekvenčním měničem (slave) a posílá instrukce pro řízení motoru pomocí frekvenčního měniče.



Obr. 21: PLC automat ET200SP

Obsažené prvky PLC:

- CPU 1512SP F-1 PN
- BA 2xRJ45
- 2x F-DI 8x24VDC HF
- F-DQ 4x24VDC/2A PM HF
- DI 8x24VDC HF
- DQ 8x24VDC/0.5A HF
- TM PosInput 1

Programovatelný automat odpovídá požadavkům dle normy IEC 62061 SIL 3.

Tab. 6: Bezpečnostní jmenovité hodnoty PLC

Bezpečnostní jmenovité hodnoty	
PFHD	$< 2 \times 10^{-9}$
T1	20 let

4.4.3 Frekvenční měnič

K řízení motoru slouží frekvenční měnič SIMATIC G120. Měnič je složen ze tří částí výkonné, řídicí a ovládací.

Výkonový modul PM240-2 je velikosti FSA, té nejmenší dodávané dle výkonu. Vstupní napětí 230 V jednofázově nebo třífázově. Pro motory do výkonu 0,75 kW.

Řídicí jednotka měniče je CU-250S-2 PN. Osahuje bezpečnostní a klasické vstupy a výstupy. Vstupy pro enkodéry různých typů a různých konektorů. Jedná se o bezpečnostní řídicí jednotku

odpovídající určitým bezpečnostním požadavkům. Integruje v sobě jak základní, tak i rozšířené bezpečnostní funkce. Ty jsou podrobně popsány v teoretické části.

Frekvenční měnič obsahuje také ovládací panel IOP, pro základní ovládání a nastavení parametrů pro uvedení měniče do provozu. Na displeji ovládacího panelu se zobrazují také podrobně alarmové hlášení s návodem na řešení potíží. Je zde možné také kvitovat alarmové hlášení.



Obr. 22: Frekvenční měnič G120

Programovatelný automat odpovídá požadavkům dle normy IEC 62061 SIL 2.

Tab. 7: Bezpečnostní jmenovité hodnoty měniče

Bezpečnostní jmenovité hodnoty	
PFHD	$< 5 \times 10^{-8}$
T1	20 let

4.4.4 Motor a převodovka

Motor je od firmy Siemens. Jedná se asynchronní motor. Motor je bez elektromechanické brzdy. Obsahuje enkodér HTL pro snímání otáček motoru. Motor je v patkovém provedení IMB3.



Obr. 23: Motor

Parametry motoru 1LE1003-0DB22-2AB4-ZTh.Cl.:

Tab. 8: Parametry motoru

Veličina	Hodnota
Výkon	0,55 kW
Napětí	230 V / 400 V
Proud	2,20 A / 1,26 A
Frekvence	50 Hz
Otáčky	1440 RPM
Účinitík	0,78 PF
Účinnost	80,8 %
Stupeň krytí	IP 55

K motoru je pomocí pružné spojky připojena převodovka. Převodovka je ve šnekovém provedení, její převodový je 20:1. Vzhledem k samosvornosti převodovky, tíha závaží neroztočí motor po odpojení napájení. Proto není potřeba motor brzdit, kvůli pádu závaží.

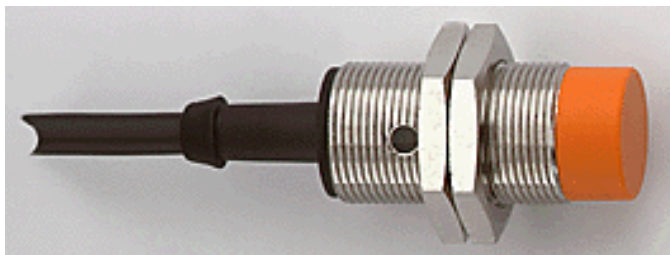


Obr. 24: Převodovka

4.4.5 Senzory koncové polohy

Model obsahuje 2 druhy koncových senzorů, nahoře i dole. Jedná se o indukční a mechanický senzor.

Indukční senzor slouží jako senzor koncové pracovní polohy. Jedná se o senzory Allen-Bradley s dosahem 8 mm. Po dosažení polohy koncového senzoru se motor zastaví, ale je stále pod napětím. Po příjezdu na koncovou polohu by měl pohyb závaží pokračovat na opačnou stranu.



Obr. 25: Indukční snímač pracovní

Mechanický senzor slouží jako havarijní pro bezpečnostní funkci. Po dosažení jeho pozice by se měl motor řízeně zastavit a odpojit od napájení. Jsou použité mechanické kontakty od firmy SIEMENS SIRIUS. Pro bezpečnostní funkci jsou použity 2 rozpínací kontakty, pro 2 kanálové zapojení.



Obr. 26: Mechanický snímač havarijní

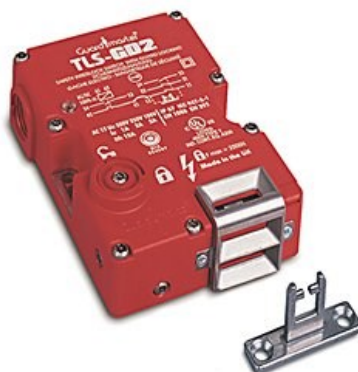
Mechanický havarijní senzor odpovídá požadavkům dle normy IEC 62061 SIL 2 pro jeden snímač a SIL3 pro dva snímače za sebou. Je použit pouze jeden snímač, navíc polohu před ním kontroluje ještě pracovní indukční čidlo.

Tab. 9: Bezpečnostní jmenovité hodnoty havarijního snímače

Bezpečnostní jmenovité hodnoty	
B10d	$> 50 \times 10^6$ operací/min.
PFH _D	$< 2 \times 10^{-9}$
T1	20 let

4.4.6 Bezpečnostní zámek

Dveře u krytu motoru jsou vybaveny bezpečnostním zámkem TLS1-GD2 od firmy Allen-Bradley. Tento zámek lze otevřít pouze při přivedení napájení – funkce power to release. Pokud je stroj vypnut, není možné zámek otevřít. Obsahuje dvě dvojice kontaktů NC a NO pro monitorování cívky zámku a samotného zámku. Dále má vstup pro ovládání cívky zámku. Cívka zámku je napájena 24 V DC. Pro bezpečnostní funkci jsou použity 2 rozpínací kontakty, jako 2 kanálové zapojení. Napájení cívky pro otevření je připojeno na výstupní bezpečnostní kartu.



Obr. 27: Elektronický zámek

Bezpečnostní zámek odpovídá požadavkům dle normy IEC 62061 SIL2 – SIL 3.

Tab. 10: Bezpečnostní jmenovité hodnoty zámku

Bezpečnostní jmenovité hodnoty	
B10d	$> 2 \times 10^6$ operací/min.
PFH _D	$< 3 \times 10^{-7}$
MTTFd	> 385 let

4.4.7 Tlačítko nouzového zastavení

Pro bezpečnostní odpojení napájení slouží tlačítko nouzového zastavení. Tlačítko nouzového zastavení, řízeně zastaví motor a ten poté měnič odpojí od zdroje energie. Podle normy ČSN EN 60204-1 ed.2 je to funkce zastavení kategorie 1. Každý stroj by měl být vybaven alespoň jedním tlačítkem pro odpojení motoru od napájení. Tlačítko nouzového zastavení je v provedení červeného hříbu na žlutém pozadí. Tlačítko se uvolňuje otočením.

U bezpečnostního zapojení se tlačítko zapojuje 2 kanálově. Pomocí dvou nezávislých rozpínacích kontaktů. Tím se ošetří slepení kontaktů. Pokud se po stisku tlačítka jeden kontakt nerozepne. Kontakty tlačítka jsou přivedeny do bezpečnostní vstupní karty. Po stlačení tlačítka se aktivuje nouzové zastavení pomocí programu v automatu, který aktivuje bezpečnostní funkce v měniči.



Obr. 28: Nouzové tlačítko zastavení

Tlačítko nouzového zastavení odpovídá požadavkům dle normy IEC 62061 SIL 3.

Tab. 11: Bezpečnostní jmenovité hodnoty nouzového tlačítka

Bezpečnostní jmenovité hodnoty	
B10d	$> 5 \times 10^5$ operací/min.
PFH _D	$< 2 \times 10^{-8}$
T1	20 let

4.4.8 Lankový enkodér

Lankový enkodér od firmy SICK slouží pro přesné snímání polohy závaží pomocí vysouvacího lanka. Enkodér je umístěn pod závažím. Lanko je spojeno pomocí očka na spodní straně závaží. Jedná se o absolutní enkodér typu SSI.



Obr. 29: Lankový enkodér

4.4.9 Maják

Maják od firmy Allen-Bradley, se skládá ze dvou barev, červené a zelené. Slouží pro signalizaci správného a chybového stavu. Stav připraven k pohybu je značen zelenou barvou. Chybový stav nebo stav nouzového zastavení je značen červeným blikáním. Maják je připojen na výstupní digitální kartu programovatelného automatu.



Obr. 30: Maják

4.4.10 Ovládací prvky

Pro ruční ovládání pohonu slouží krabička s třemi tlačítky na panelu. Krajní tlačítka slouží pro pohyb nahoru a dolů. Prostřední bílé slouží pro zastavení. Tlačítka fungují tak že stiskem tlačítka nahoru nebo dolů se motor rozjede. Pohyb je možno zastavit stiskem prostředního tlačítka, pokud už nedorazí do koncové polohy dané indukčním snímačem.



Obr. 31: Polohovací tlačítka

Přepínač s klíčkem by měl sloužit pro přepnutí do servisního režimu. Kde by došlo k úpravě některých bezpečnostních funkcí, některé by byly přemostěny. Jako například při aktivaci servisního režimu by se otevřely dveře, aktivovala funkce SLS a po dojetí na havarijní senzory, by se neodpojilo napájení motoru, jen by se aktivovala funkce SDI. Vzhledem k tomu že zařízení je používáno v učebně, kde by v přepínači klíček byl neustále přítomný, tím by byla velice snížena bezpečnostní funkce.



Obr. 32: Servisní přepínač

Resetovací tlačítko je modře podsvětlené. Slouží ke kvitaci poruch a resetování bezpečnostních funkcí. Například po stisku tlačítka nouzového zastavení se resetovací tlačítko rozblíká. Uvolněním nouzového tlačítka se nelze dostat hned do stavu před poruchou. Je potřeba poruchu odstranit a zmáčknutím resetovacího tlačítka se vrátit do normálního stavu.



Obr. 33: Resetovací tlačítko

4.5 Výpočet diagnostické funkce a určení SIL

Pro určení výsledné požadované hodnoty SIL u bezpečnostních funkcí je potřeba vypočítat pravděpodobnosti selhání každého prvku neboli subsystému. Podle nich určit dosažitelnou mez jednotlivých subsystémů SILCL. Součtem pravděpodobností jednotlivých subsystémů získáme výslednou úroveň SIL dané bezpečnostní funkce pro zvolenou oblast.

4.5.1 Určení hodnoty PFHD u jednotlivých prvků

Pro výpočet PFHD u jednotlivých prvků jsou použity katalogové hodnoty bezpečnostních prvků.

Tab. 12: Subsystému

Bezpečnostní prvek	B10d	PFHD _p
Tlačítko E-Stop	500 000	
Havarijní senzor	50 000 000	
Elektronický zámek	2 000 000	$3 \cdot 10^{-7}$
PLC		$1 \cdot 10^{-9}$
Měnič		$5 \cdot 10^{-8}$

Stop tlačítko

Pro dvoukanálové zapojení tlačítka nouzového zastavení s diagnostickými funkcemi v PLC je použita architektura D. Uvažujeme zde počet operací C, 1 za hodinu. Hodnota β je zvolena dle normy jako 0,1. Diagnostické pokrytí DC je zvoleno 90 %, díky použitým diagnostickým funkcím. Vstupy bezpečnostního prvku jsou neustále kontrolovány řídicím systémem. Ostatní hodnoty jsou zvoleny z katalogu pro daný prvek.

$$\lambda_{De} = 0,1 \cdot \frac{C}{B_{10D}} = 0,1 \cdot \frac{1}{500\,000} = 2 \cdot 10^{-7} \quad (4.1)$$

kde:	λ_{De}	-	intenzita nebezpečných poruch prvku subsystému
	C	-	počet operací za danou dobu
	B_{10D}	-	počet operací

$$\lambda_{DssESTOP} = (1 - \beta)^2 \cdot [\lambda_{De}^2 \cdot 2 \cdot DC] \cdot \frac{T_2}{2} + \{[\lambda_{De}^2 \cdot (1 - DC)] \cdot T_1\} + \beta \cdot \lambda_{De} = \quad (4.2)$$

$$= (1 - 0,1)^2 \cdot [(2 \cdot 10^{-7})^2 \cdot 2 \cdot 0,9] \cdot \frac{1}{2} + \{[(2 \cdot 10^{-7})^2 \cdot (1 - 0,9)] \cdot 175\,200\} + 0,1 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 2,07 \cdot 10^{-8}$$

kde:	λ_{De}	-	intenzita nebezpečných poruch prvku subsystému
	$\lambda_{DssESTOP}$	-	intenzita nebezpečných poruch celého subsystému
	T_2	-	diagnostický zkušební interval ($T_2 = \frac{1}{C}$)
	T_1	-	interval kontrolní zkoušky nebo doba života
	β	-	citlivost na společné poruchy
	DC	-	diagnostické pokrytí prvku

$$PFH_{DESTOP} = \lambda_{DssESTOP} \cdot 1h = 2,07 \cdot 10^{-8} \cdot 1h = 2,07 \cdot 10^{-8} \quad (4.3)$$

kde:	PFH_{DssD}	-	střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu
------	--------------	---	--

Výsledná hodnota PFH_D odpovídá SILCL 3.

Havarijní senzor

Pro dvoukanálové zapojení tlačítka nouzového zastavení s diagnostickými funkcemi v PLC je použita architektura D. Uvažujeme zde počet operací C , 1 za den. Hodnota β je zvolena dle normy jako 0,1. Diagnostické pokrytí DC je zvoleno 90 %, díky použitým diagnostickým funkcím. Vstupy bezpečnostního prvku jsou neustále kontrolovány řídicím systémem. Ostatní hodnoty jsou zvoleny z katalogu pro daný prvek.

Jsou použity 2 havarijní senzory pro horní a dolní polohu. Vzhledem k tomu že se jedná o dva identické senzory i se stejnou bezpečnostní funkcí jsou počítány pouze jednou. Výsledná hodnota $PFHD$ bude stejná.

$$\lambda_{De} = 0,1 \cdot \frac{C}{B_{10D}} = 0,1 \cdot \frac{\frac{1}{24}}{50\,000\,000} = 8,33 \cdot 10^{-11} \quad (4.4)$$

kde: λ_{De} - intenzita nebezpečných poruch prvku subsystému
 C - počet operací za danou dobu
 B_{10D} - počet operací

$$\begin{aligned} \lambda_{DssHAVAR} &= (1 - \beta)^2 \cdot [\lambda_{De}^2 \cdot 2 \cdot DC] \cdot \frac{T_2}{2} + \{[\lambda_{De}^2 \cdot (1 - DC)] \cdot T_1\} + \beta \cdot \lambda_{De} = \quad (4.5) \\ &= (1 - 0,1)^2 \cdot [(8,33 \cdot 10^{-11})^2 \cdot 2 \cdot 0,9] \cdot \frac{\frac{1}{24}}{2} + \{[(8,33 \cdot 10^{-11})^2 \cdot (1 - 0,9)] \cdot 175\,200\} + 0,1 \cdot 8,33 \cdot 10^{-11} \\ &= 8,33 \cdot 10^{-12} \end{aligned}$$

kde: λ_{De} - intenzita nebezpečných poruch prvku subsystému
 $\lambda_{DssESTOP}$ - intenzita nebezpečných poruch celého subsystému
 T_2 - diagnostický zkušební interval ($T_2 = \frac{1}{C}$)
 T_1 - interval kontrolní zkoušky nebo doba života
 β - citlivost na společné poruchy
 DC - diagnostické pokrytí prvku

$$PFH_{DHAVAR} = \lambda_{DssHAVAR} \cdot 1h = 8,33 \cdot 10^{-12} \cdot 1h = 8,33 \cdot 10^{-12} \quad (4.6)$$

kde: PFH_{DssD} - střední pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu

Výsledná hodnota PFH_D odpovídá SILCL 3, ale protože je zde použit pouze jeden snímač pro koncovou polohu, dle požadavků výrobce splňuje pouze SIL 2.

Elektronický zámek

Pro elektronický zámek není dostatek parametrů pro výpočet u architektury D. Elektronický zámek, je od jiného výrobce než Siemens. Proto není k dispozici dostatek hodnot k výpočtu. Je zvolena katalogová hodnota PFH_D .

$$PFH_{DZAMEK} = 3 \cdot 10^{-7}$$

Výsledná hodnota odpovídá hodnotě SILCL 2 dle normy ČSN EN 62061.

PLC

Hodnota je zvolená z katalogu.

$$PFH_{DPLC} = 1 \cdot 10^{-9}$$

Odpovídá hodnotě SILCL 3 dle normy ČSN EN 62061.

Frekvenční měnič

Hodnota je zvolená z katalogu.

$$PFH_{DMENIC} = 5 \cdot 10^{-8}$$

Odpovídá hodnotě SILCL 2 dle normy ČSN EN 62061.

4.5.2 Určení hodnoty SIL pro navržené diagnostické funkce

Výsledné hodnota SIL pro bezpečnostní funkci se určí jako součet všech hodnot PFH_D u použitých prvků v dané bezpečnostní funkci.

Motorová oblast

$$PFH_D = PFH_{DESTOP} + PFH_{DZAMEK1} + PFH_{DPLC} + PFH_{DMENIC} + PFH_{DZAMEK2}$$

$$PFH_D = 2,07 \cdot 10^{-8} + 3 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 10^{-8} + 3 \cdot 10^{-7}$$

$$PFH_D = 6,81 \cdot 10^{-7}$$

Z této hodnoty PFH_D vyplývá úroveň SIL 2 dle normy ČSN EN 62061.

Pracovní oblast

$$PFH_D = PFH_{DESTOP} + PFH_{DHAVAR} + PFH_{DHAVAR} + PFH_{DPLC} + PFH_{DMENIC}$$

$$PFH_D = 2,07 \cdot 10^{-8} + 8,33 \cdot 10^{-12} + 8,33 \cdot 10^{-12} + 1 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 10^{-8}$$

$$PFH_D = 7,1 \cdot 10^{-8}$$

Z této hodnoty PFH_D vyplývá úroveň SIL 2 dle normy ČSN EN 62061.

4.6 Ověření navrženého systému v programu Safety evaluation tool

Pro ověření, zda navržená funkce splňuje požadavky SIL2, se použil program od firmy Siemens Safety Evaluation Tool. Byl zvolen, protože obsahuje knihovny od produktů Siemens na rozdíl od

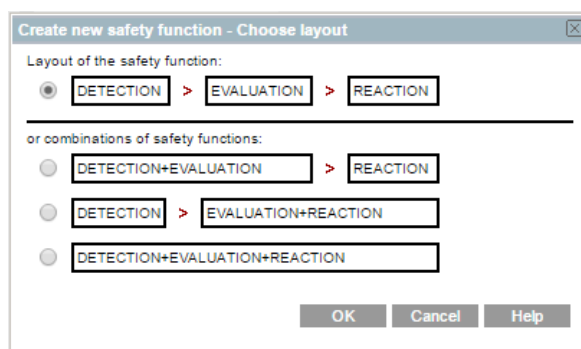
softwaru Sismema. Safety Evaluation tool navíc při svém návrhu využívá i normu 62061. Kdežto Sistema používá pouze normu 13849-1.

4.6.1 Založení projektu

Program se nachází na stránkách výrobce Siemens, a je spuštěn přes internetový prohlížeč. Pro používání návrhového programu je potřeba být zaregistrovaný.

Nový projekt se založí volbou „New project“. Zde je potřeba vybrat použitou normu. Pro tenhle projekt je zvolena norma IEC 62061. Po založení nového projektu je potřeba vytvořit bezpečnostní oblasti jako při návrhu v kapitole 4.3. Bezpečnostní oblasti se založí pomocí „New safety area“. Jsou vytvořeny dvě oblasti jako při návrhu. Pro motorovou oblast a pro pracovní oblast se závažím.

Dále pro každou bezpečnostní oblast se vytvoří jedna bezpečnostní funkce. Zde se zvolí rozložení. Je zvoleno pro obě funkce odpovídající rozložení jako u návrhu, tedy zvlášť pro vstup, ovládání a výstupní zařízení (detection, evaluation, reaction) viz (Obr. 34).



Obr. 34: Výběr rozložení bezpečnostní funkce

Pro bezpečnostní funkce je potřeba zvolit požadovanou hodnotu SIL. Hodnota SIL se určila pomocí analýzy rizika pro každou nebezpečnou oblast zvlášť. Zadáním hodnot Se, Fr, Pr a Av, program pomocí bodového hodnocení sám zvolí požadovanou hodnotu SIL = 2. Pro každou bezpečnostní funkci se volí hodnota požadované úrovně SIL samostatně.

Severity of the possible harm	Se	Permanent, loss of fingers	
Frequency and duration of exposure	Fr	< 1 per hr - ≥ 1 per day	5 pts.
Probability of occurrence of a hazardous event	Pr	Very high	5 pts.
Probability of avoiding or limiting the harm	Av	Possible	3 pts.

Obr. 35: Určení hodnoty SIL

4.6.2 Vložení prvků

Do vytvořené bezpečnostní funkce je možné vkládat jednotlivé bezpečnostní prvky jako prvky subsystému. Vkládané bezpečnostní prvky od firmy Siemens jsou už předem nadefinovány, jen je potřeba najít tu správnou komponentu a vložit ji. Je potřeba však jednotlivé prvky upravit podle typu použití. Jako příklad je uvedeno bezpečnostní tlačítko nouzového zastavení. Ostatní bezpečnostní prvky jsou nastavovány obdobně.

Name	Stop tlačítko		Comment	S7 Connection	ET200SP ▼
Type	<input checked="" type="radio"/> Customerdata required <input type="radio"/> SIL/PL exists	Architecture of circuit	2 Channels ▼	Nr. of components	1 ▼
Channel 1 Channel 2					
Manufacturer	Siemens		Reset	Reference designations	
Productgroup	SIRIUS Commanding and Signaling Devices			DC (%)	90 (medium) Estimate DC
Productname	EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Release (rotate to unlatch) ?			B10 (operation cycles)	100,000
Integrated communication connection	without			Ratio of dangerous failures (%)	20
Order number	3SU1...-1.B20 ?			Max. service life, T1 (in years)	20
More order numbers				B10D (operation cycles)	500,000.00
Number of operations / test interval (switching cycles)	1	Per hour ▼		AD	2.00 E-07
Supplementary notes					
Consideration of safety integrity acc. to IEC 62061					
CCF-Factor (%)	10 ▼	Estimate CCF		SILCL	SIL 3
Architectural constraints	Emergency Stop			PFHD	2.05 E-08

Obr. 36: Nastavení bezpečnostního prvku

U tlačítka pro nouzové zastavení byli upraveny následující parametry viz (Obr. 36). Připojení prvku bylo změněno z 1 kanálového na 2 kanálové. Oba kanály jsou identické. Dále byla určena hodnota diagnostického pokrytí v procentech. Hodnota DC byla zvolena 90 %, odpovídá použitému typu diagnostiky pro bezpečnostní prvek. Jako diagnostický nástroj složí použitá diagnostika v řídicím systému PLC, kdy jsou jednotlivé vstupy bezpečnostního prvku přivedené na bezpečnostní vstupní kartu, a nastaveny HW konfigurací. Jednotlivé kanály musí být přiveden na správný vstup, v HW konfiguraci zvoleno 2 kanálové připojení a nastaven čas pro možnou dobu rozepnutí kontaktů. Diagnostika je více popsána v programovací části. Dále byla zvoleny nejvyšší hodnota CCF (selhání se společnou příčinou). Hodnota je zvolena co nejvyšší, protože podle tabulkových hodnot není použit dostatek ochranných opatření pro dosažení nižší hodnoty. Je potřeba zvolený prvek propojit s ovládací částí pomocí „S7 Connection“, kde se vybere použité PLC, které už bylo přidáno. Tím s ovládací částí vytvoří propojení tlačítka s ovládací částí, kde se dále vybere použitá vstupní karta PLC a zvolí se

2 kanálové připojení. Po zadání všech parametrů program určí výslednou hodnotu PFH_D , a zní se určí maximální dosažitelná mez SILCL. Ta musí být větší nebo rovna zvolené hodnotě SIL pro bezpečnostní funkci.

U Elektronické zámku, který je od jiného výrobce, je potřeba zadat přímo hodnotu SIL podle informací od výrobce.

4.6.3 Ověření hodnoty SIL

Po vložení všech prvků v bezpečnostní funkci. Musí výsledná hodnota SIL, pro každou funkci odpovídat zvolené hodnotě při analýze systému. Pokud dosažená hodnota SIL odpovídá požadované hodnotě, pruh jej zbarvený do zelena, jsou tedy splněny podmínky. Obě bezpečnostní funkce splňují podmínku SIL 2.

Required SIL	SIL 2 ▼	Evaluate	Achieved SIL:	SIL 2
	Fr5, Pr5, Av3		Achieved PFHD:	6.74 E-07
Safetyfunction	<div> <div>SIL 1</div> <div>SIL 2</div> <div>SIL 3</div> </div>			

Obr. 37: Ověření hodnoty SIL pro motorovou oblast

4.6.4 Porovnání hodnot PFH_D z výpočtu a nástroje Safety evaluation tool

Hodnoty získané pomocí nástroje Safety evaluation tool a výpočtem pomocí vzorců přibližně odpovídají, vznikla zde pouze malá odchylka nejspíš důsledkem zaokrouhlování.

Tab. 13: Porovnání PFH_D

	Výpočet	Safety evaluation tool
Motorová oblast	$6,81 \cdot 10^{-7}$	$6,74 \cdot 10^{-7}$
Pracovní oblast	$7,1 \cdot 10^{-8}$	$7,45 \cdot 10^{-8}$

5 Uvedení do provozu a tvorba Safety aplikace

Řídící aplikace je vytvořena pomocí programu Tia Portal V13 od firmy Siemens, je to program pro tvorbu programů pro řízení a ovládání elektronických aplikací s PLC a dalšími komponenty. K zprovoznění Tia Portalu jsou potřebné licence jednotlivých jeho částí. Pro řízení a konfiguraci měniče byla potřeba základní profesionální licence. Další licence pro programování safety části. A poslední pro tvorbu vizualizace.

V programu se používaly tyto jeho části:

- Programovací část – pro tvorbu řídicích programů a HW konfiguraci
- Startdrive – nástroj pro konfiguraci frekvenčních měničů
- WinCC – pro tvorbu vizualizací na operátorských panelech

5.1 Hw konfigurace

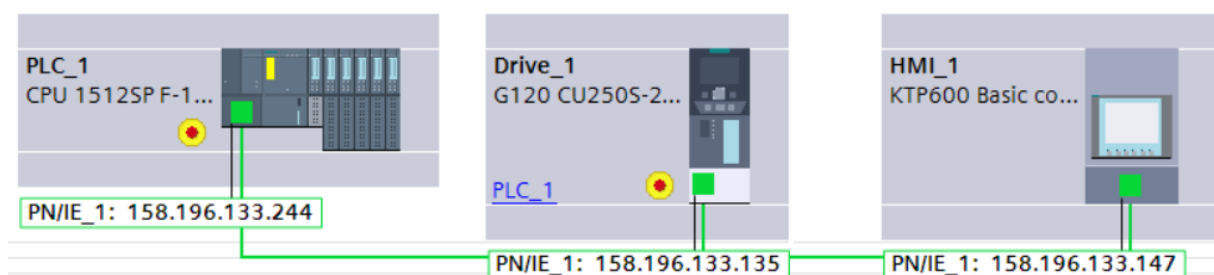
Po založení projektu je potřeba do programu vložit jednotlivá zařízení těmi jsou:

- PLC ET200sp s CPU 1512SP F-1 PN s jednotlivými I/O kartami, viz. kapitola 4.4.2
- Frekvenční měnič G120 CU250S-2 PN + PM240
- Operátorský panel HMI KTP600 Basic

Pro vložení správných zařízení je potřeba zjistit jejich objednávací číslo.

Jednotlivá zařízení jsou připojena do počítačové sítě učebny. PLC s operátorským panelem je připojeno do sítě a frekvenční měnič je připojen do síťového modulu IM pro PLC. Dá se teda na něj připojit odkudkoliv pokud je PLC napájeno.

K propojení zařízení jsou použity ethernetové kabely. K bezpečnostní komunikaci mezi PLC a frekvenčním měničem, se používá protokol Profisafe.



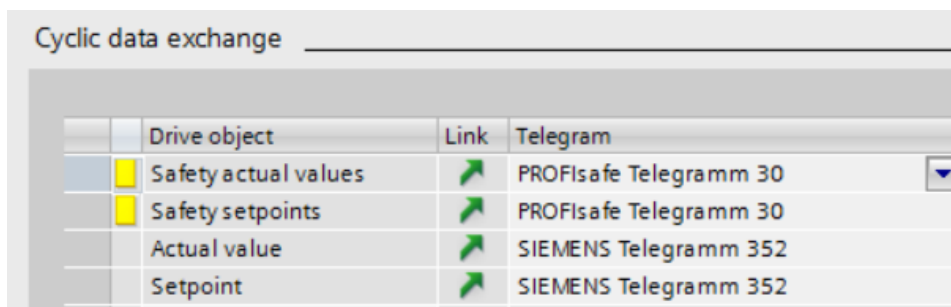
Obr. 38: Propojení komponent

Po přidání zařízení do projektu je potřeba zařízením přiřadit jednotlivé IP adresy ke komunikaci po síti viz (Obr. 38). IP adresy lze přiřadit pomocí Tia Portalu kde vyhledáme všechny zařízení připojena

k síti. Pomocí MAC adresy, zvolíme správné zařízení a přiřadíme správnou adresu zvolenou správcem sítě.

5.2 Komunikace mezi měničem a PLC

Pro komunikaci mezi frekvenčním měničem a PLC se používají telegramy jak pro řízení pohonu tak pro bezpeční funkce měniče. Jednotlivé telegramy pro komunikaci se nastavují v konfiguraci měniče v záložce „Cyclic data Exchange“.



Obr. 39: Volba telegramů

Pro komunikaci jsou vybrány dva telegramy, pro řízení pohybu SIEMENS Telegram 352 a pro bezpečnostní funkce Profisafe Telegram 30.

5.2.1 Telegram 352

Tenhle telegram slouží pro řízení měniče, zapnutí/vypnutí, zjištění aktuálních hodnot otáček proudu a momentu, čtení alarmových stavů. Vše je možné vyčíst v PLC a dále s tím pracovat v řídicí aplikaci.

Pro posílání příkazů z PLC pro ovládání pohonu se používá STW1 (Control word), po nastavení správných bitů se motor rozjede. ZSW1 (Status word), slouží pro signalizaci stavu motoru. NSOLL_A slouží pro nastavení otáček a NIST_AGLATT pro čtení aktuální hodnoty otáček. IAIST_GLATT čte aktuální hodnotu proudu, MIST_GLATT aktuální hodnotu momentu, WARN_CODE a FAULTL_CODE posílají alarmové a poruchové hlášení.

PKW	PZD01	PZD02	PZD03	PZD04	PZD05	PZD06	PZD07	PZD08
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Telegram 352, speed control for PCS7					
STW1	NSOLL_A	Process data for PCS7			
ZSW1	NIST_AGLATT	IAIST_GLATT	MIST_GLATT	WARN_CODE	FAULT_CODE

Obr. 40: Telegram 352

K jednotlivým bitům lze přistupovat jednotlivě pomocí vstupů a výstupů. Adresy pro telegram jsou pro I 34...35 a Q 29...40.

5.2.2 Telegram 30

Používá se pro bezpečnostní funkce. Obsahuje pouze základní bezpečnostní funkce jako STO, SS1 a SBC. Pro použití rozšířených bezpečnostních funkcích je potřeba použít telegram 900. Pro naši aplikaci stačí pouze základní funkce telegramu 30.

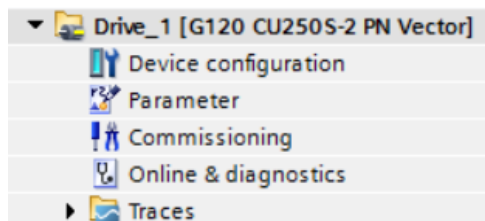
Byte	Bit	Function	Comment	
0	0	STO	0	Select STO
			1	Deselect STO
	1	SS1	0	Select SS1
			1	Deselect SS1
	2 ... 6	Not relevant		
	7	Internal Event ack	0	Do not acknowledge faults
1 → 0			Acknowledge "Internal event" for a 1 → 0 signal change	
1	8 ... 15	Not relevant		

Obr. 41: Telegram 30

5.3 Nastavení frekvenčního měniče

5.3.1 Comisioning

Pro správné nastavení frekvenčního měniče pro příslušný motor slouží nástroj „Comisioning wizard“ v záložce „Comisioning“. Při nastavování měniče je potřeba být v režimu online tedy připojen k měniči. Průběh nastavení jednotlivých parametrů proveden pomocí jednoduchého průvodce. Je potřeba zvolit metodu řízení.



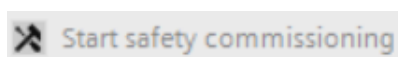
Obr. 42: Nastavení měniče

Je zvoleno vektorové řízení s enkodérem. Dále je možné pro ovládání motoru použít jedno z předem definovaných maker. Zde nebylo použito žádná makro. Byl pouze vybrán pro komunikaci telegram 352. Dalším krokem je zvolit typ použitého motoru, typ zapojení motoru, v našem případě do hvězdy. Zadat parametry ze štítku motoru. Dále je potřeba zvolit parametry pro omezení proudu a otáček, náběžnou a sestupnou hranu. Volí se zde typ identifikace motoru po nastavení. Je zvolena identifikace pro standartní řízení a za nulových otáček. Jako poslední je potřeba vybrat použitý typ enkodéru. Je zde použit jeden enkodér pro snímání otáček motoru. Byl vybrán enkodér podle parametrů odpovídajících číslu 3001. Po nastavení všech parametrů je potřeba konfiguraci ukončit kliknutím na tlačítko „Finish“, poté se konfigurace uloží do měniče.

Po správném nastavení je potřeba provést identifikaci pohonu. Ta se provádí za nulových otáček motoru. Identifikace se provede tak že se provede pomocí nástroje „Control panel“ v záložce „Comisioning“. Kde se převezme ovládání a motor se rozjede na nulové otáčky. Během identifikace motor píská. Po skončení identifikace motor přestane pískat a zmizí alarm.

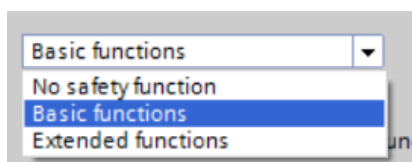
5.3.2 Nastavení bezpečnostních funkcí v měniči

Nastavení bezpečnostních funkcí je ukryto v záložce „Parametres – Drive Functions – Safety integrated“. Je potřeba být v režimu online. Nastavování se spustí ikonou „Start safety commissioning“.



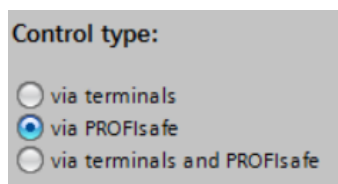
Obr. 43: Povolení bezpečnostního nastavování

Z typů bezpečnostních funkcí jsou zvoleny základní funkce.



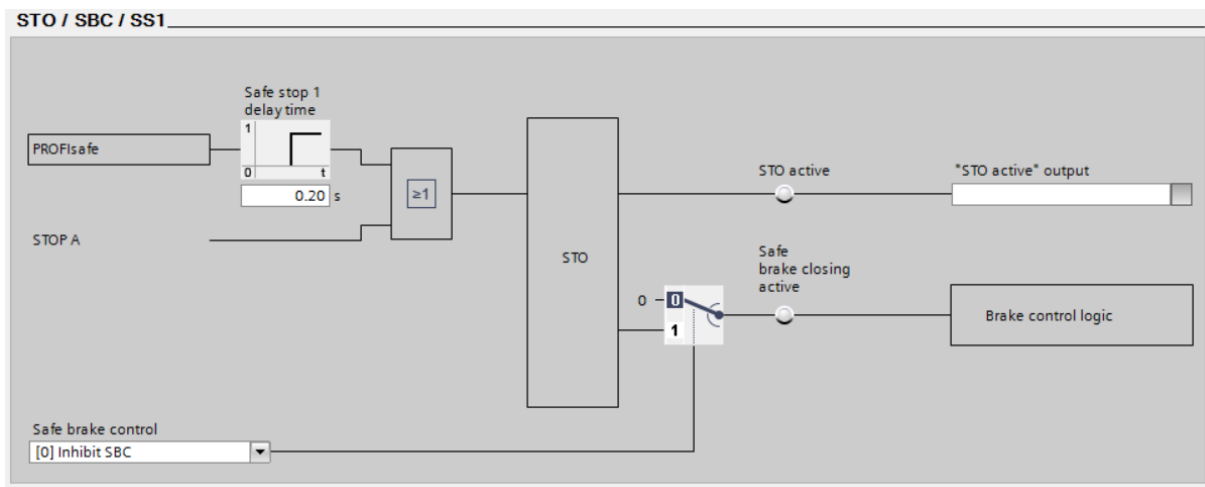
Obr. 44: Volba bezpečnostních funkcí

Všechny bezpečnostní prvky budou připojeny do PLC a bude potřeba s měničem komunikovat pomocí telegramu přes PROFIsafe. Vstupy a výstupy na měniči nebudou využívány.



Obr. 45: Typ komunikace měniče a PLC

U základních bezpečnostních funkcí měniče jsou k dispozici pouze funkce STO, SS1 a SBC. Pro bezpečnostní funkci SS1 je potřeba nastavit zpoždění pro brždění po nastavené rampě. Funkce SBC není zvolena, protože motor neobsahuje brzdu.



Obr. 46: Nastavení bezpečnostních funkcí

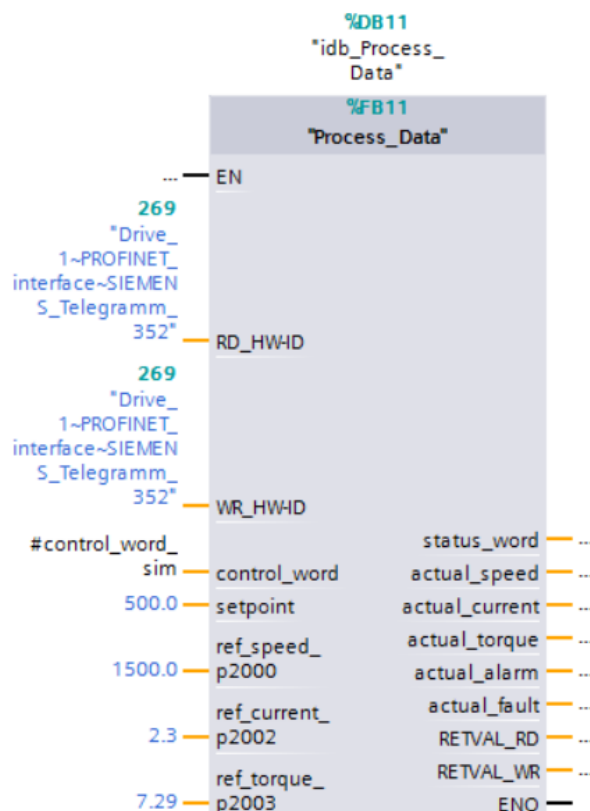
Po dokončení nastavování bezpečnostních funkcí je potřeba nastavování upustit stejným tlačítkem jako před nastavováním. Poté se bezpečnostní funkce nahrají do ROM měniče.

5.4 Tvorba řídicího programu

Pro řízení motoru slouží 3 hlavní funkční bloky 2 pro komunikaci s telegramem a jeden pro logiku řízení.

5.4.1 Komunikace mezi měničem a PLC

Pro o cyklickou komunikaci mezi PLC a měničem slouží funkční blok ProcessData. Jedná se o předem připravený funkční blok od firmy Siemens. Pro správnou komunikaci funkčního bloku a frekvenčního měniče slouží vstupní parametry „RD_HW-ID“ a „WR_HW-ID“ pro čtení a zápis. Parametr se nastaví pomocí systémové konstanty pro identifikačního čísla použitého telegramu. Zde se také nastavuje rychlost otáček motoru pomocí vstupu „setpoint“. Hodnota je datové typy REAL, jako reálná hodnota otáček. Pomocí použitých převodní funkcí Normalizations a Denormalization je hodnota „setpoint“ přepočítávána mezi reálnou a skutečnou hodnotou. Nejvyšší skutečná hodnota je 16384, která odpovídá reálné hodnotě nastavené pomocí parametru „p2000“ pro maximální hodnotu otáček.



Obr. 47: Blok pro komunikaci pomocí telegramu

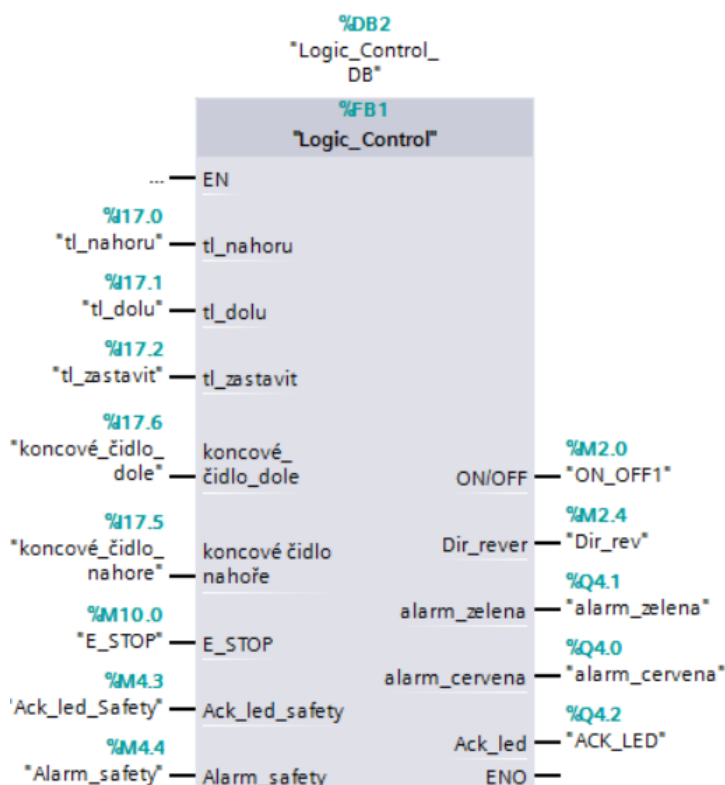
Pro nastavení jednotlivých bitů v STW1 se používá další funkční blok, Simulation. Pro uvedení motoru do pohybu je potřeba mít již nastavené jednotlivé bity telegramu do stavu log 1. Data mezi těmito bloky se přenáší pomocí proměnné „*control_word_sim*“.

5.4.2 Logika řízení měniče

Funkční blok slouží pro řízení pohybu závaží mezi koncovými senzory pomocí ovládacích tlačítek pro posuv a zastavení. Vstupují zde také signalizační stavy z bezpečnostní části programu. Výstupem je zapnutí/vypnutí pohonu, směr otáčení. Nebo světelná signalizace stavu na majáku a resetovacím tlačítku.

Pro posuv nahoru a dolů jsou požívány tlačítka. Jejich adresy jsou připojeny na vstupy funkce. Po přivedení signálu pro pohyb nahoru nebo dolů je potřeba, aby byli splněny následující podmínky. Například pro pohyb nahoru nesmí být závaží v horní poloze signalizované pomocí horního indukčního čidla. Dále nesmí být aktivní bezpečnostní funkce zastavení, nebo zároveň stisknuto jiné ovládací tlačítko. Po splnění těchto podmínek se nastaví bit pro ON/OFF měniče do log 1. Hodnota bitu je poslána do bloku Simulation pro nastavení STW1. Poté je celý STW1 odeslán do měniče pomocí bloku proces data. Pohyb dolů funguje obdobně, jen se navíc nastavuje bit pro změnu směru otáčení.

Zastavení pohybu je možno pomocí bílého ovládacího tlačítka pro zastavení. Nebo pomocí dojezdu na koncovou polohu danou indukčním senzorem. Pro signalizaci pomocí indukčního je použito snímání náběžné hrany. Kde se nastaví pomocný bit a na výstupu se ihned z resetuje. Díky tomu můžeme indikovat pouze polohu indukčním čidlem a informace o zastavení je nastavena do výchozího stavu.



Obr. 48: Blok pro logiku řízení.

5.5 Programování bezpečnostní funkce

Pomocí zvolených prvků pro bezpečnostní je potřeba řídit bezpečnostní funkci. Kontakty bezpečnostních prvků jsou přivedeny do vstupních F-DI karet PLC.

Pro správné dvoukanálové připojení bezpečnostních prvků slouží diagnostické funkce. Kde HW konfiguraci u jednotlivých bezpečnostních karet je potřeba nastavit zda jde o signál dvoukanálový, nebo pouze jedno kanálový. Nastavuje se zde čas, při kterém by se měly oba kontakty rozepnout. Pokud se rozepne pouze jeden kontakt ze dvou, diagnostika vyhodí chybovou hlášku. Proto je možné v programu používat pouze jeden kontakt, druhý kontakt nelze ani vložit.

Sensor evaluation:	1oo2 evaluation, equivalent	
Discrepancy behavior:	Supply value 0	
Discrepancy time:	100 ms	
Reintegration after discrepancy error:	Test 0-Signal not necessary	

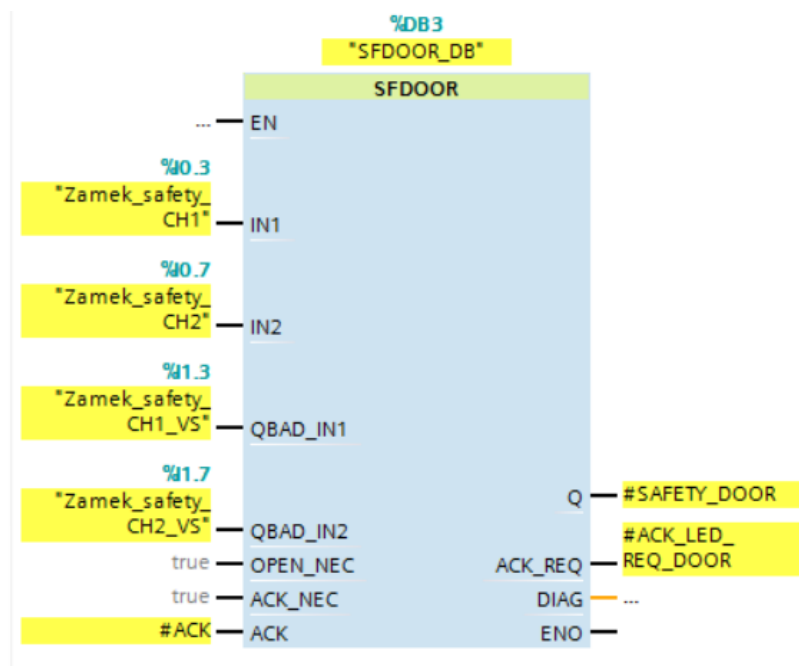
Obr. 49: Nastavení vstupů pro bezpečnostní prvky

Jednotlivé vstupy z bezpečnostních prvků jsou přiřazeny k proměnné pro další použití v programu a kvůli přehlednosti. Je zde použit také negovaný signál pro použití mimo bezpečnostní část nebo jako signalizace ve vizualizaci.



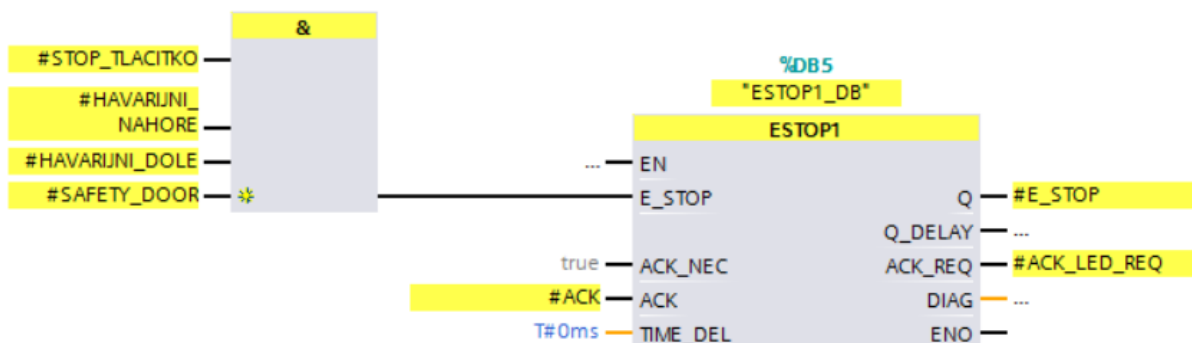
Obr. 50: Přiřazení proměnných

V programu jsou použity funkce SFDOOR pro zámek a funkce ESTOP pro globální zastavení. Jsou použity již definované funkce pro správné fungování, které neumožní pohonu se znovu rozjet, pokud není stlačeno tlačítko nouzového zastavení, nebo není aktivován jiný bezpečnostní prvek. Pro znovu uvedení do pohybu je potřeba potvrzení resetovacím tlačítkem.



Obr. 51: Blok pro elektronický zámek

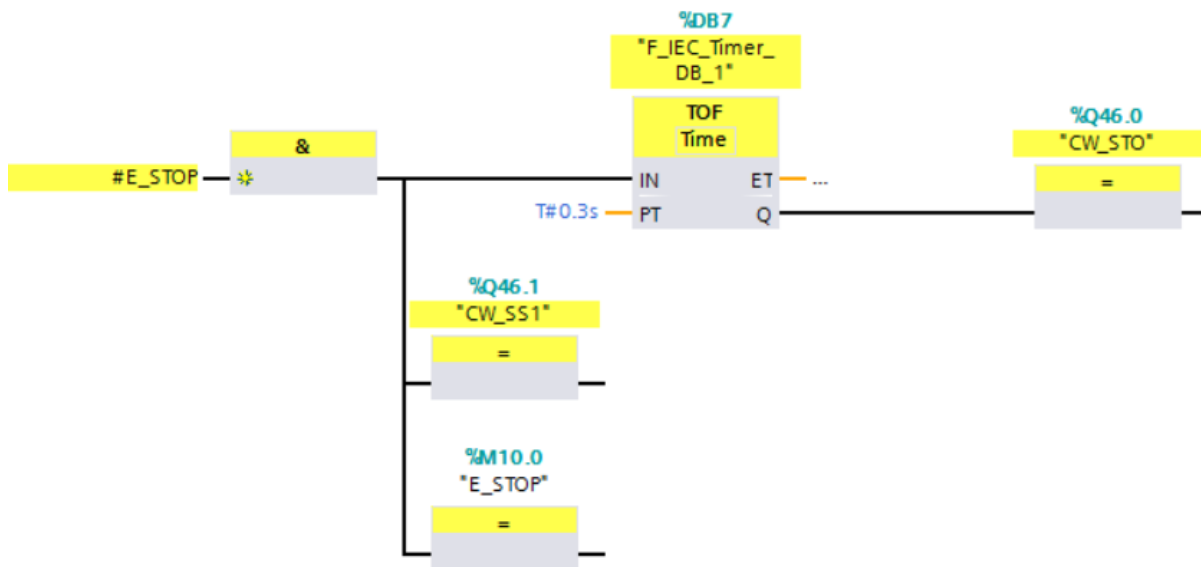
Do funkce SFDOOR vstupují oba kontakty zámku. Kontakty jsou sepnuty, pokud jsou dveře zavřeny. Výstup bloku vstupuje do bloku GLOBAL STOP spolu s ostatními bezpečnostními prvky. Do bloku ESTOP vstupuje dále tlačítko nouzového zastavení, a dva havarijní senzory.



Obr. 52: Blok pro nouzové zastavení

Pokud není signál alespoň z jednoho z bezpečnostních prvků, nebo z funkce SFDOOR. Potom je výstup funkce ESTOP v log 0. Díky tomu dojde k deaktivaci STO a SS1, a tím k zastavení a odpojení motoru od frekvenčního měniče.

U vypnutí STO je zpoždění 0.3s, aby se nejdříve aktivovala funkce SS1 a motor brzdil a poté se odpojil od napájení. Memory bit 10.0 E_STOP posílá údaj o aktivování bezpečnostní funkce do bloku pro řízení logiky pohonu.



Obr. 53: Aktivace funkcí měniče

Pro správné uvolnění zámku u dveří je pro otevření použita podmínka, že musí být stlačeno tlačítko nouzového zastavení. K uvolnění dveří tedy nedojde, pokud je motor zastaven a odpojen pomocí havarijního senzoru. Pro otevření je vždy nutné, aby bylo stlačené tlačítko nouzového zastavení



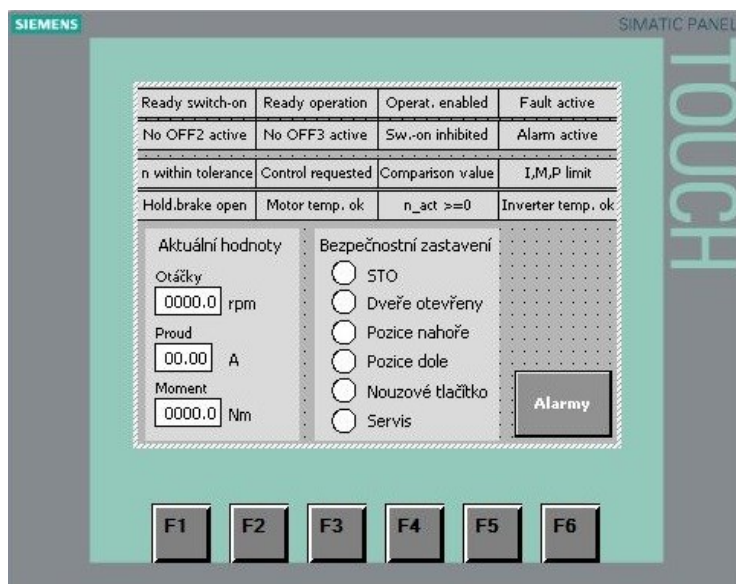
Obr. 54: Uvolnění elektronického zámku dveří

5.6 Vizualizace

Pro vizualizaci jsou vytvořeny dvě obrazovky, hlavní obrazovka pro zobrazení aktuálních stavů a druhá pro zobrazení alarmových hlášení frekvenčního měniče. Je použit operátorský panel siemens K600. Panel je umístěn mimo laboratorní model. Je připojen do sítě v učebně, proto je snadné se na něj připojit.

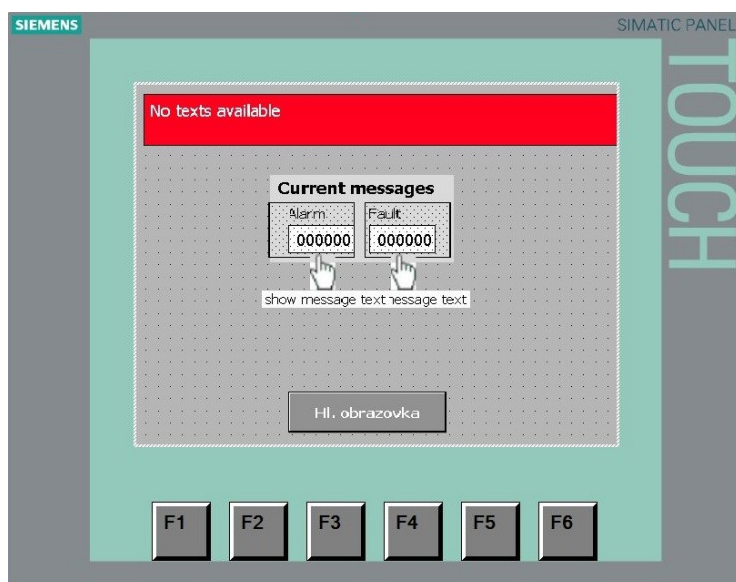
Hlavní obrazovka obsahuje aktuální stavy frekvenčního měniče a bezpečnostních prvků. V horní části obrazovky je zobrazen Status word (ZSW1) telegramu 352. Aktivní bity telegramu jsou zbarveny do zelené barvy, alarmové a poruchové hlášení je vybarveno červeně, při aktivním alarmu nebo poruše. V levém dolním rohu je zobrazena aktuální hodnota otáček motoru, proud motoru a moment. U bezpečnostního zastavení jsou signalizovány jednotlivé stavy bezpečnostních prvků. Pokud

je aktivní bezpečnostní prvek, je signalizován žlutou barvou. Je zde poznat který z bezpečnostních prvků způsobil bezpečnostní zastavení STO, které je zde také signalizováno. Z hlavní obrazovky je možné se dostat na obrazovku s alarmy frekvenčního měniče, pomocí tlačítka „Alarmy“.



Obr. 55: Hl. obrazovka

Obrazovka s alarmy frekvenčního měniče, obsahuje okýnka pro kód alarmu a poruchy. Po kliknutí a podržení prstu na jednom z okýnek se zobrazí textové pole s podrobným popisem. Po uvolnění prstu textové pole s textem zmizí. Pomocí tlačítka „Hl. obrazovka“ se lze dostat zpět na hlavní obrazovku.



Obr. 56: Obrazovka s alarmy měniče

6 Testování aplikace

Po sestavení a naprogramování všech funkcí laboratorního přípravku je potřeba otestovat jeho správnou funkci. Byla testována správná funkce zastavení pomocí ovládacích tlačítek a koncových indukčních senzorů. Byla otestována správná funkčnost všech bezpečnostních prvků, jako je tlačítko nouzového zastavení, havarijní senzory a zámku.

Před upevněním hlavní desky a umístění všech ovládacích prvků, koncových senzorů. Bylo potřeba provizorně umístit koncové senzory na jinou desku. Určit vzdálenost mezi pracovním a havarijním senzorem, aby nedocházelo při nastavených vysokých otáčkách při zastavení pomocí pracovního senzoru k najetí do pozice s havarijním senzorem.

U testování ovládacích tlačítek pro posuv a zastavení v návaznosti na čidlo pracovní polohy. Nebyly nalezeny problémy. Po najetí na horní pracovní sensor dojde k zastavení po nastavené rampě. Poté je možný pouze posuv dolů. Tlačítko pro posun nahoru při horní pozici správně nereaguje.

Po uvolnění indukčního senzoru, nebo při poruše senzoru. Závaží najede na havarijní sensor a pohyb závaží se zastaví a motor se odpojí od napájení. Poté je potřeba stisknout tlačítko nouzového zastavení a upravit polohu závaží ručně.

Po najetí na havarijní sensor se správně neotevrou dvířka k motoru. Je potřeba pro jistotu zmáčknout ještě tlačítko pro nouzové zastavení. Poté dojde k odblokování dveří a je možné upravit ručně pozici závaží po najetí na havarijní sensor. U bezpečnostních funkcí bylo důležité otestovat návaznost všech bezpečnostních prvků. Při otevřených dvířkách a stlačeném nouzovém zastavení je stále aktivována bezpečnostní funkce a motor nelze rozjet. Po zavření dvířek a od aretování nouzového zastavení je bezpečnostní funkce stále aktivní a motor se pořád nemůže rozjet. Pro uvedení laboratorního přípravku do režimu vhodného pro provoz je potřeba zmáčknout resetovací tlačítko, které se zároveň rozbliká. Po zmáčknutí resetovací tlačítka, tlačítko zhasne a deaktivují se bezpečnostní funkce, poté se rozsvítí zelená signalizace na majáku.

Při testování elektronického zámku jsou dveře od motorové části neustále uzavřeny i při výpadku napájení. Dveře se uvolní až stiskem tlačítkem nouzového zastavení. Po uvolnění tlačítka se motor stále nerozjede, protože jsou otevřeny dveře. Ani pomocí resetovacího tlačítka nedojde k deaktivaci bezpečnostní funkce. To se rozbliká, až jsou znovu uzavřeny dveře. Poté je možno stroj pomocí resetovacího tlačítka uvést do provozního bezpečného stavu.

7 Závěr

Účelem této diplomové práce bylo vypracovat analýzu rizik na daném laboratorním modelu, podle platné legislativy a na základě této analýzy navrhnout bezpečnostní opatření. Nezbytným základem přípravy pro tuto práci bylo nutné zjistit platné zákony, dle kterých se dále provádí analýza rizik. V první části této práce jsem tedy provedl seznámení se základními normami, které určují bezpečnost strojních zařízení, jako je umístění ochranných zařízení na nebezpečný stroj nebo bezpečnost elektrických, elektronických a ovládacích systémů a hlavně zásady pro posuzování a snižování rizika.

Seznámený s těmito základy jsem mohl začít s analýzou rizik. Vyšel jsem z normy ČSN EN ISO 12100, ve které jsou právě uvedeny informace o postupu analýzy rizik. Z informací, které vyplynuly z této analýzy, jsem navrhnul bezpečnostní prvky pro laboratorní model. Po výběru bezpečnostních prvků bylo potřeba ověřit návrh navržené bezpečnostní funkce. K tomu se použily dvě metody jedna početní s výpočtem pravděpodobností poruch jednotlivých subsystémů, druhá pomocí nástroje Safety evaluation tool od firmy Siemens. Ověřený návrh pomocí pravděpodobností a výpočtového nástroje odpovídá požadavku SIL2 požadovaném při analýze rizika. Hodnoty získané z obou metod odpovídají. Po ověření návrhu a pořízení všech potřebných komponent bylo potřeba sestavit daný laboratorní model se všemi bezpečnostními, ovládacími a řídicími prvky.

Po sestavení laboratorního modelu bylo potřeba zařízení oživit a naprogramovat jak řídicí tak bezpečnostní část. U bezpečnostního programu jsou použity funkční bloky přímo přizpůsobené pro funkční bezpečnost. Jak blok pro elektronický zámek tak pro nouzové zastavení. Použitím těchto bloků bylo dosaženo požadované správné funkce bezpečnostní části.

Při testování hotového modelu se ověřovala správná funkčnost a navržená bezpečnostní funkce. Při aktivaci jednoho z bezpečnostních prvků dojde k řízenému zastavení a odpojení motoru, pomocí bezpečnostních funkcí měniče SS1 a STO. Pomocí resetovacího je splněna požadovaná bezpečnostní funkce, že při deaktivaci bezpečnostního prvku např. uvolnění tlačítka nouzového zastavení nedojde k samovolnému rozjetí stroje. Ten je možno ovládat až po stisku resetovacího, které uvede zařízení do provozního stavu, pokud není aktivní nějaký bezpečnostní prvek. Navržením bezpečnostní funkce se laboratorní bezpečnostní model nerozjede v nebezpečných situacích zjištěných při analýze rizika.

Do budoucna je zařízení možno vybavit ještě jedním havarijním senzorem v horní koncové poloze, kde je možné použít ještě mechanickou zádržku. Druhý havarijní senzor nebude použit v bezpečnostním programu PLC. Havarijní senzor bude pomocí bezpečnostního stykače přímo odpojovat napájení mezi měničem a motorem. Díky tomu bude ošetřena špatná funkce bezpečnostního programu při špatném naprogramování, vzhledem k tomu že zařízení bude používáno jinými studenty.

8 Použitá literatura

- [1] doc. Ing. Jiří Koziorek Ph.D, Ing. Jiří Kocián, Bc. Ondřej Štrbík a Bc. Zdeněk Fajkus. Řídicí systémy na bázi programovatelných automatů. VŠB - TU Ostrava, 2013, 280 s.
- [2] Bezpečnost strojů - 1. díl - úvod, normy, posouzení rizika. VOJÁČEK, Antonín. Automatizace.hw [online]. 2015 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-1-dil-normy-rizika.html>
- [3] PEŇÁZ, Ondřej. Bezpečnost modelu malého lisu. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. RADEK ŠTOHL,
- [4] Sinamics G120 - Bezpečnostní funkce. *Siemens* [online]. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/?ctxnh=df6fd0ca9a>
- [5] ČSN EN 92061. Bezpečnost strojních zařízení - funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností. 2005.
- [6] ČSN EN 13849-1. Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečností části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. 2008.
- [7] ČSN EN ISO 14121-1. Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika - Část 1: Zásady. 2008.
- [8] ČSN EN 60204-1 ed. 2. Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky. 2007.
- [9] ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. 2011.

9 Seznam příloh:

Příloha A: Fotky modelu

Příloha B: Skříň

Příloha C: Rozměry skříně

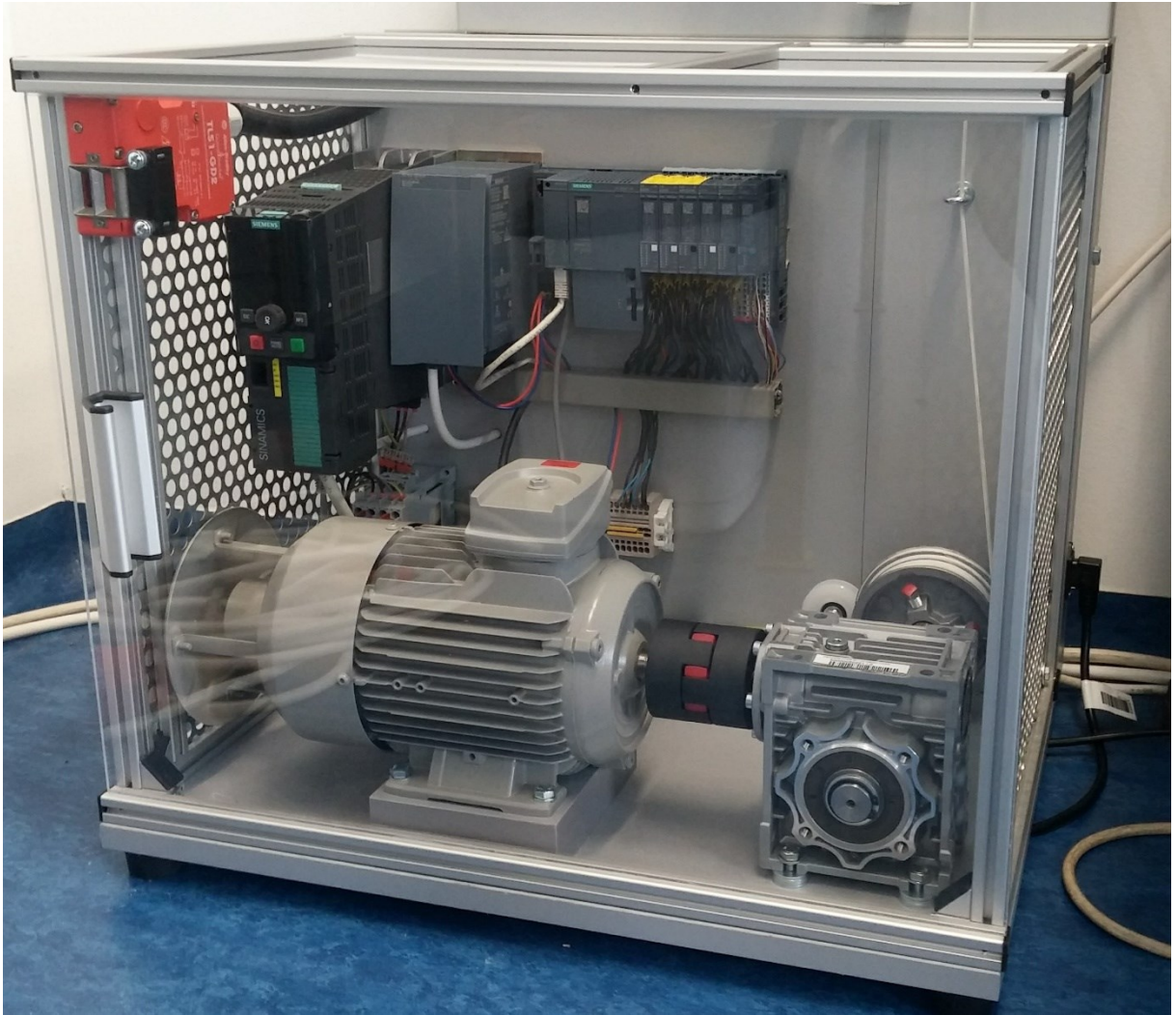
Příloha D: Schéma zapojení

Příloha na CD obsahuje:

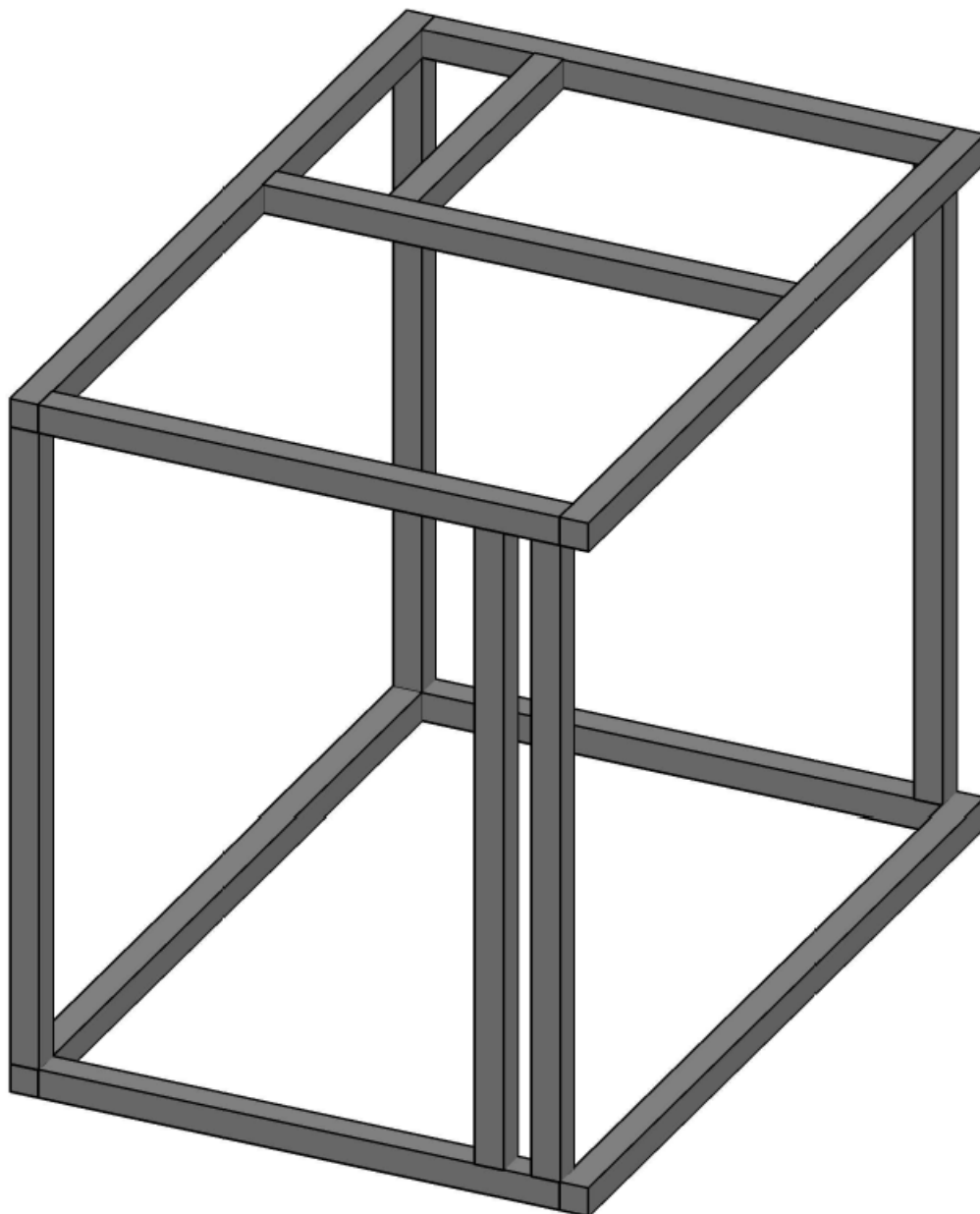
- Program laboratorního modelu aplikace v Tia Portal
- Exportované části programu, safety část, logické řízení a main
- Návrh v aplikaci Safety evaluation tool
- Dokumentaci potřebnou k nastavování měniče a safety části

Příloha A: Fotky modelu

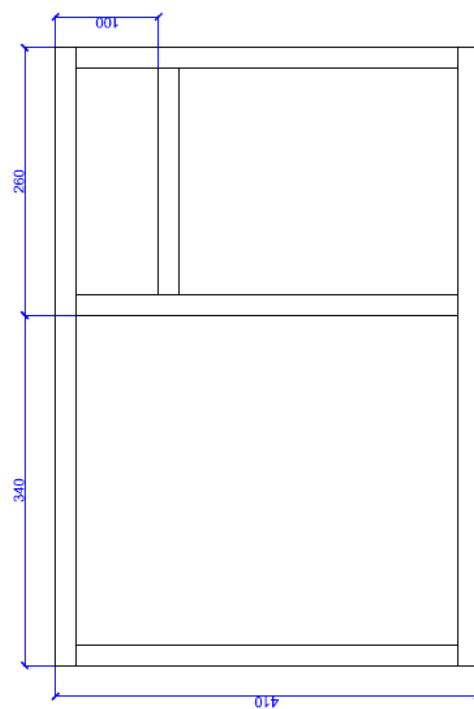
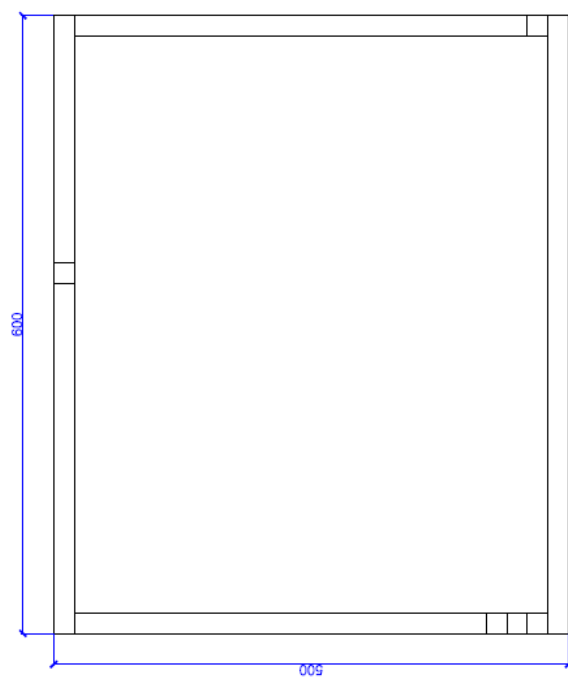
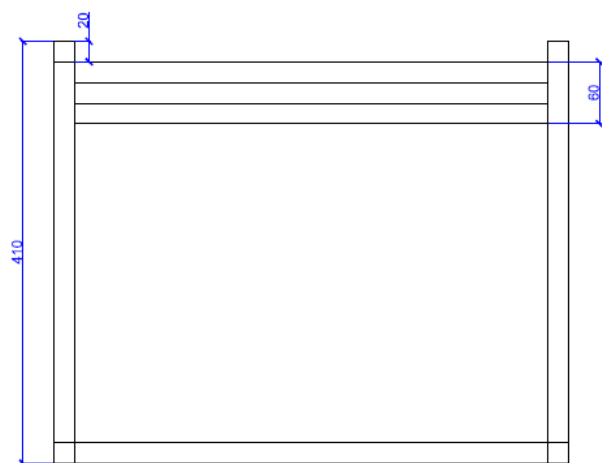




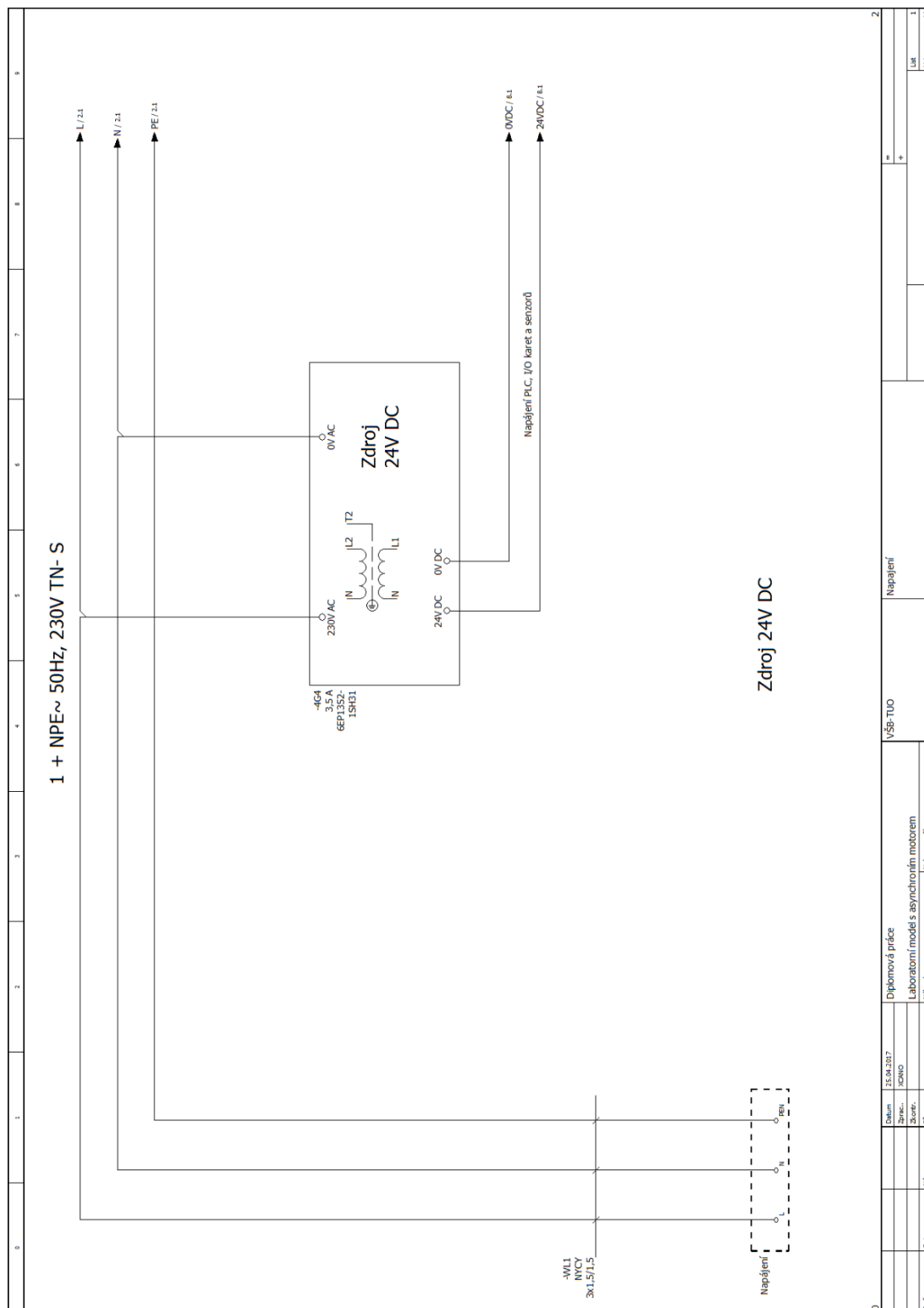
Příloha B: Skříň

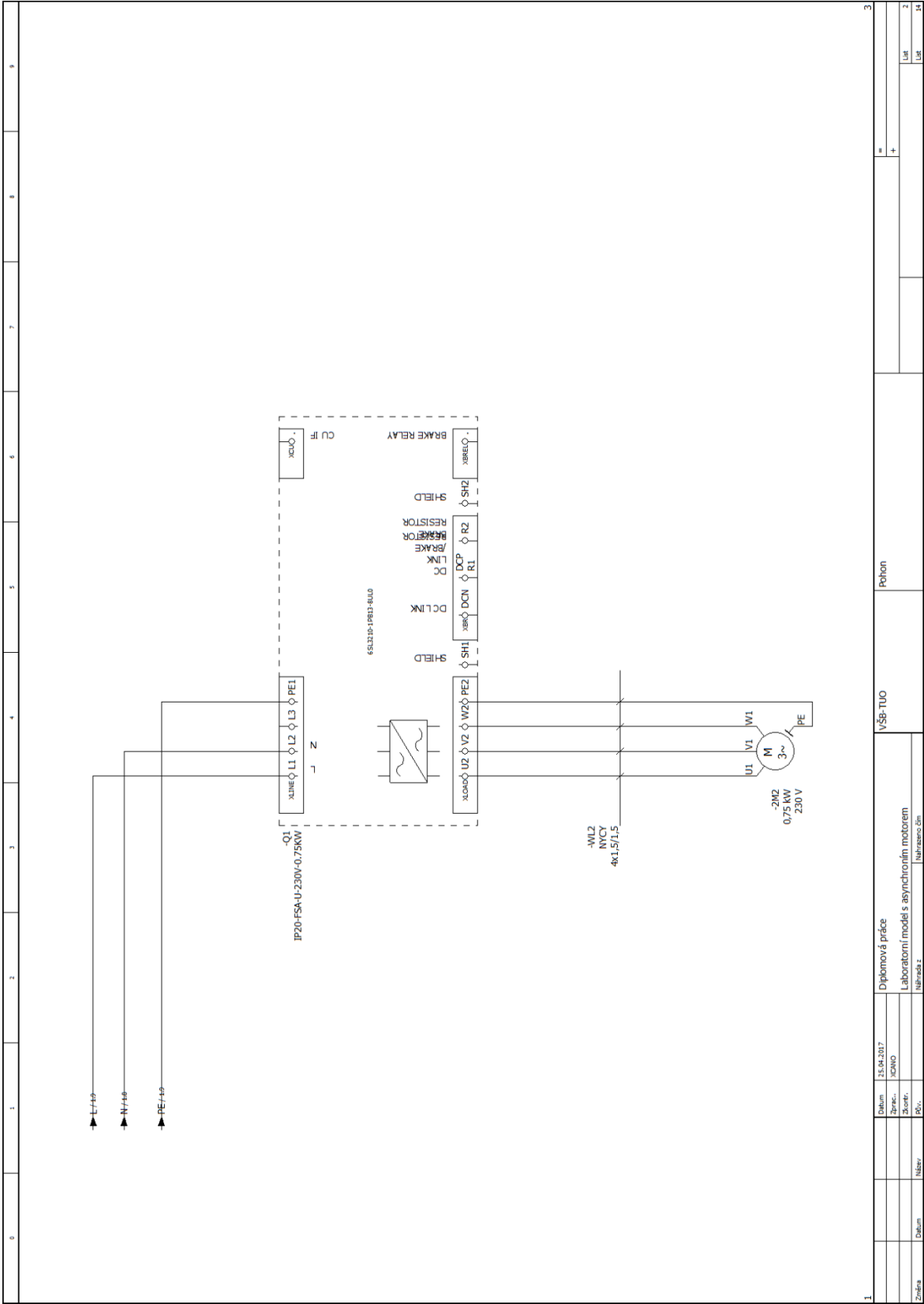


Příloha C: Rozměry skříně



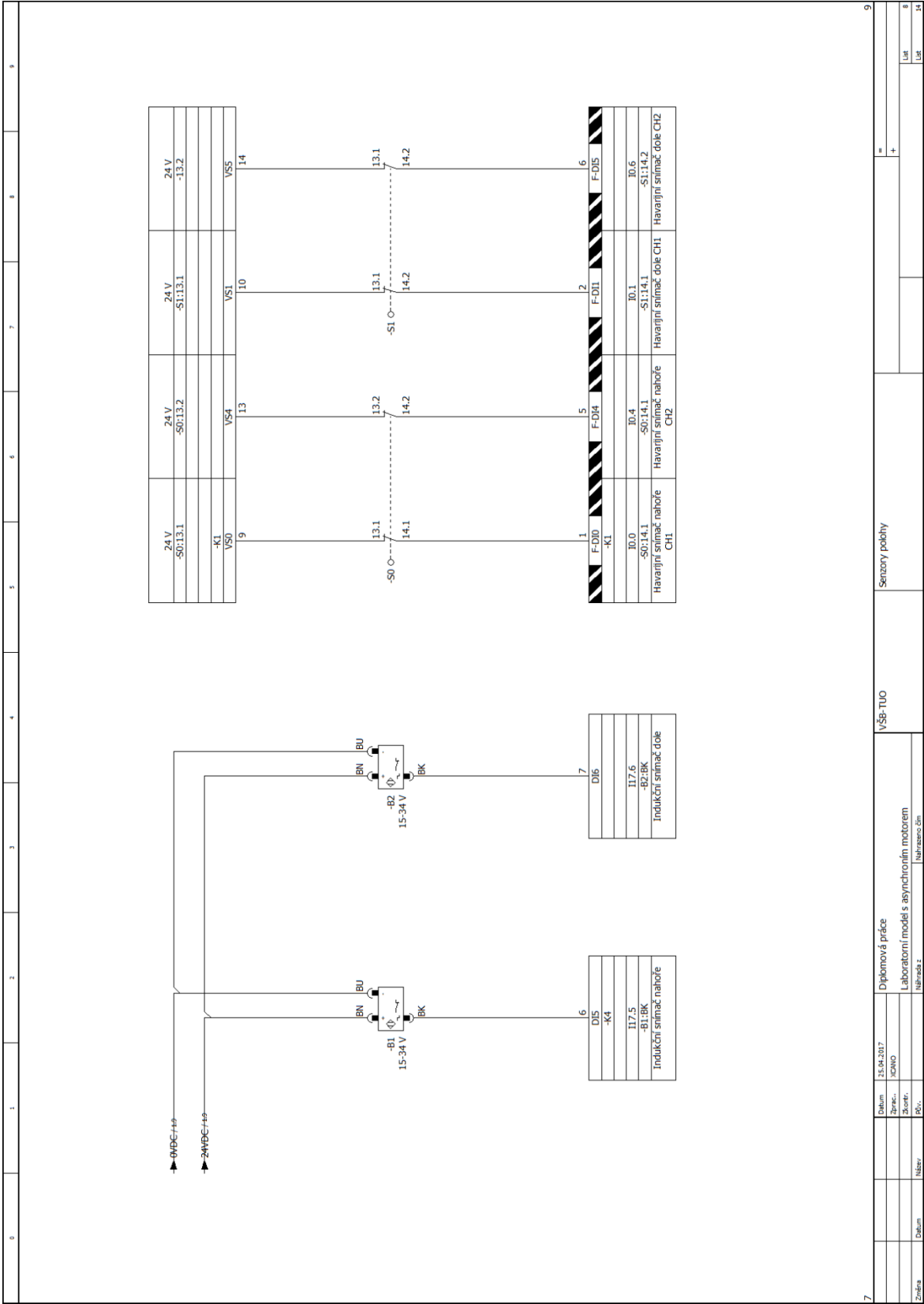
Příloha D: Schéma zapojení



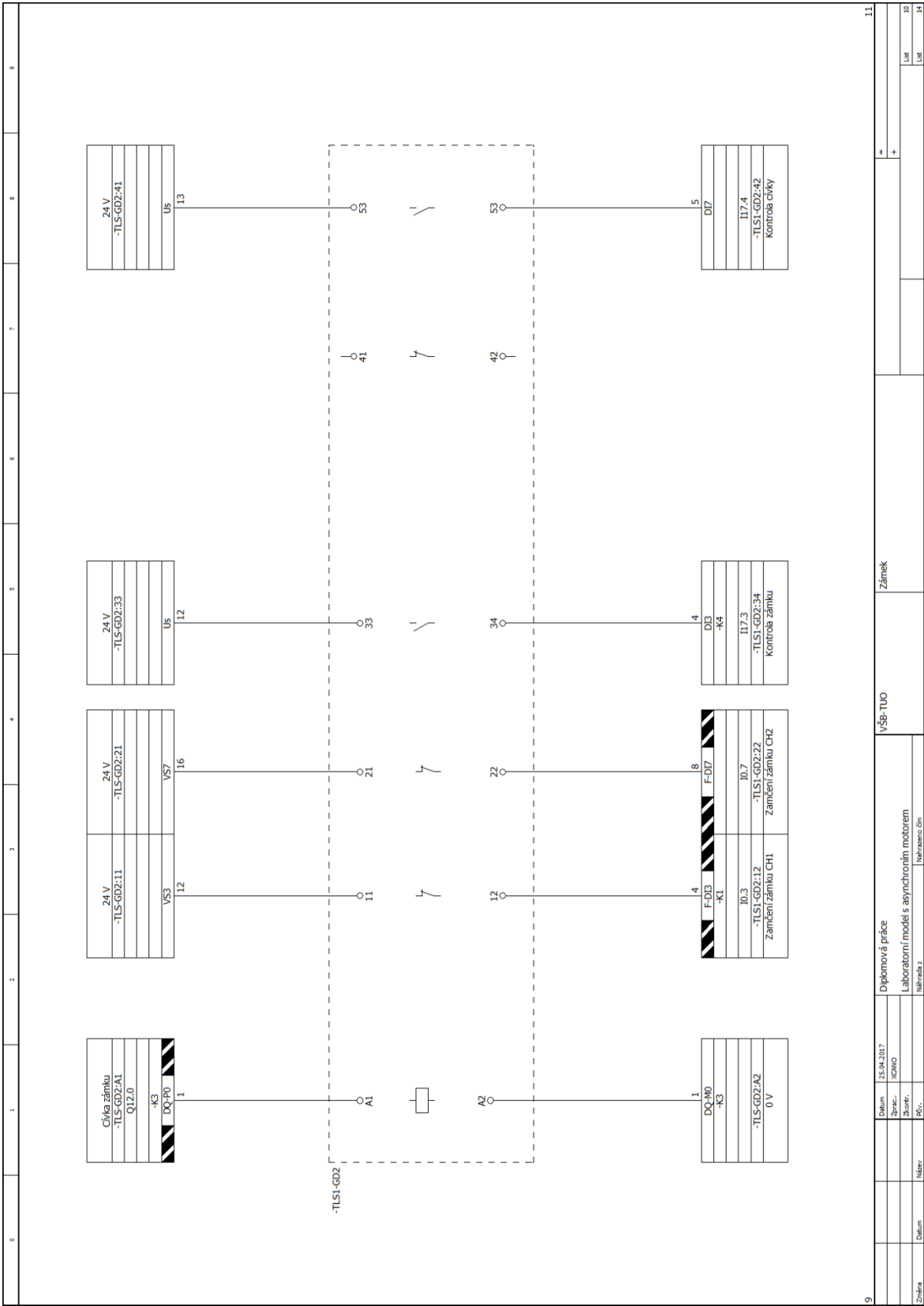


0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> K4 J2 / J3 / J4 </div> <div> ET 200SP DI 8x24VDC HF </div> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <div style="text-align: center;"> SIEMENS </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Napájení 24V Napájení 0V Tah nahoru Tah dolů Zastavit Kontrola zámku Kontrola otkvy Indukční snímač nahře Indukční snímač dle </div> <div> 24V 24V 24V 24V 24V 24V 24V 24V </div> </div>									
5			Diplová práce		VSp-TUO		7		
Datum Zprac. Zkont. Přiz.			15.04.2017 KCMO		DI		=		
Zařiz. Datum			Laboratorní model s asynchroním motorem		VSp-TUO		+		
Název			Název z		Název z		Lst Lst Lst		

6	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> K5 /11.4 /f8 </div> <div> SIEMENS ET 200SP DQ 8x24VDC/0.5A HF </div> </div> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Napájení 24V Napájení 0V Maják červená Maják zelená Reset LED dioda Kontrola zámku Kontrola otkvy Indukční snímač nahoře Indukční snímač dole - 0V 0V 0V 0V 0V 0V 0V 0V 0V </div> <div> 24VDC L+ 0VDC M DQ0 1 DQ1 2 DQ2 3 DQ3 4 DQ4 5 DQ5 6 DQ6 7 DQ7 8 M 9 M 10 M 11 M 12 M 13 M 14 M 15 M 16 M </div> </div> </div>									
6	Datum: 25.04.2017 Zprac.: XCMO Zkontrol.: Měřeno:				Vše: TUO DQ		Diplomová práce Laboratorní model s asynchronním motorem Měřítko: 1:1 Nakresleno: Jim		
Datum:		Datum:		Datum:		Datum:		Datum:	
Zprac.: XCMO		Zprac.: XCMO		Zprac.: XCMO		Zprac.: XCMO		Zprac.: XCMO	
Měřeno:		Měřeno:		Měřeno:		Měřeno:		Měřeno:	
Měřítko: 1:1		Měřítko: 1:1		Měřítko: 1:1		Měřítko: 1:1		Měřítko: 1:1	
Nakresleno: Jim		Nakresleno: Jim		Nakresleno: Jim		Nakresleno: Jim		Nakresleno: Jim	



[illegible]



Konektor

Barvy vodičů

- 1 - Hnědý
- 2 - Bílý
- 3 - Černý
- 4 - Růžový
- 5 - Žlutý
- 6 - Fialový
- 7 - Modrý
- 8 - Červený